

ТОП-25 школьных экспериментов по ФИЗИКЕ

Механика | Термодинамика | Электричество | Оптика | Атомная физика | Био- и Медицинская Физика

Полный перечень лабораторных установок на сайте www.3bscientific.ru

УВАЖАЕМЫЕ ПРЕПОДАВАТЕЛИ,



Это издание содержит 25 самых популярных школьных экспериментов по физике. Мы создали этот ТОП-25, основываясь на нашем большом опыте сотрудничества с российскими школами. Лабораторные установки очень востребованы преподавателями. Сборник написан доступным языком и предназначен для изучения основных разделов классической и современной физики. Каждый опыт сопровождается следующей информацией:

- Цель упражнения
- Иллюстрация установки для проведения опыта
- Рассмотрение теоретических и экспериментальных основ опыта
- Выводы по результатам опыта
- Подробный список необходимого оборудования

На сайте www.3bscientific.ru Вы можете найти полный перечень наших лабораторных установок, которые помогут Вам в преподавании и изучении физики. Также будем рады ответить на любые вопросы по телефону или посредством электронной почты.

Кроме того, мы всегда с интересом рассматриваем любые замечания, вопросы или предложения, поступающие от наших клиентов. Мы с готовностью учтем ваши пожелания для включения в сборник новых тематических материалов. Это поможет нам в создании продуктов, максимально соответствующих Вашим потребностям.

С уважением,
Александр Мамаев
Руководитель отдела продаж учебного оборудования по физике

СВЯЖИТЕСЬ С НАМИ!



WWW.3BSCIENTIFIC.RU

Сделайте заказ онлайн, сэкономьте время и найдите полную информацию по товарам.



Отправьте нам e-mail по почте:
sales.spb@3bscientific.com



Позвоните нам.
Мы с радостью ответим на Ваши вопросы!
+7 (812) 334-22-23





Лабораторная установка «Колесо Максвелла»
с новым датчиком регистрации данных, работает в паре
с телефонами, планшетами, ноутбуками.



НОВАЯ лабораторная установка «Эффект Фарадея»



НОВАЯ лабораторная установка «Допплерография»

UE1020100 | ЗАКОН ГУКА



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Подтверждение закона Гука
для цилиндрических пружин,
находящихся под напряжением.

› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Подтвердить закон Гука и определить коэффициент упругости пяти разных цилиндрических пружин.
- Сравнить измеренные значения коэффициента упругости с рассчитанными теоретическими значениями.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В любом упругом теле деформация и напряжение пропорциональны друг другу. Это соотношение открыто Робертом Гуком и часто демонстрируется с помощью цилиндрической пружины с подвешенными к ней грузами. Изменение длины пружины пропорционально силе тяжести F подвешенного груза. В этом опыте измерение выполняется на пяти разных цилиндрических пружинах. Благодаря подходящему выбору диаметра проволоки и диаметру витка значения коэффициента упругости всех пружин находятся в одном порядке величин. В каждом случае действие закона Гука будет демонстрироваться для сил, превосходящих первичное напряжение.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Набор цилиндрических пружин для демонстрации закона Гука	1003376
1	Набор гирь с радиальным вырезом, масса 20–100 г	1003226
1	Вертикальная линейка длиной 1 м	1000743
1	Набор передвижных маркеров для линеек	1006494
1	Тяжелая круглая опора, масса 1000 г	1002834
1	Стойка из нержавеющей стали, длина 1000 мм	1002936
1	Стойка-треножник 150 мм	1002835
1	Зажим с крючком	1002828

Дополнительно рекомендуется иметь

1	Штангенциркуль, 150 мм	1002601
1	Внешний микрометр	1002600

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

В любом упругом теле деформация и напряжение пропорциональны друг другу. Эта зависимость открыта Робертом Гуком и представляет собой хорошее описание того, как ведет себя большое количество материалов при достаточно малой деформации. Этот закон часто демонстрируется с помощью цилиндрической пружины с подвешенными к ней грузами. Изменение длины пружины пропорционально силе тяжести F подвешенного груза.

Для повышения точности сначала следует определить первичное напряжение, которое может показываться пружиной, как результат процесса ее изготовления. Следует компенсировать первичное напряжение добавлением груза, который создаст силу F_1 , которая вызовет удлинение пружины сверх ее естественной длины без приложения груза s_0 до длины s_1 . Для грузов, создающих силу более F_1 , закон Гука применяется в следующем виде:

$$(1) \quad F - F_1 = k \cdot (s - s_1)$$

Это действительно для случаев, когда длина пружины s не превышает определенную критическую длину.

Коэффициент упругости k пружины зависит от ее материала и геометрических размеров. Для цилиндрической пружины с n витками и постоянным диаметром D справедливо следующее:

$$(2) \quad k = G \cdot \frac{d^4}{D^3} \cdot \frac{1}{8 \cdot n}$$

d : диаметр проволоки витков пружины

Модуль сдвига G стальной проволоки, образующей витки пружины, составляет 1,5 ГПа.

В этом опыте измерение выполняется на пяти разных цилиндрических пружинах. Благодаря подходящему выбору диаметра проволоки и диаметру витка значения коэффициента упругости всех пружин находятся в одном порядке величин. В каждом случае действенность закона Гука будет демонстрироваться для сил, превосходящих первичное напряжение.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Силу тяжести F можно определить с достаточной точностью на основании массы m груза, как описано ниже:

$$F = m \cdot 10 \frac{\text{м}}{\text{s}^2}$$

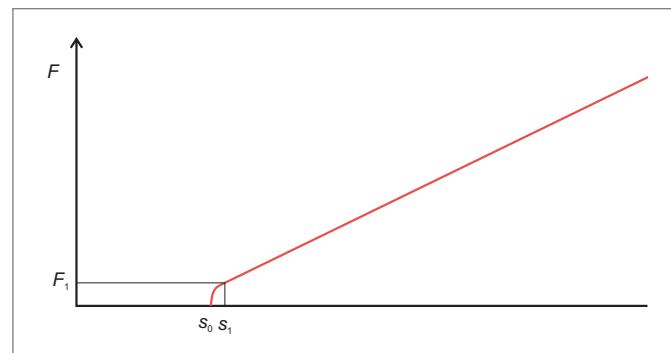


Рис. 1: Схематическое изображение характеристической кривой цилиндрической пружины длиной s и с определенным первичным напряжением

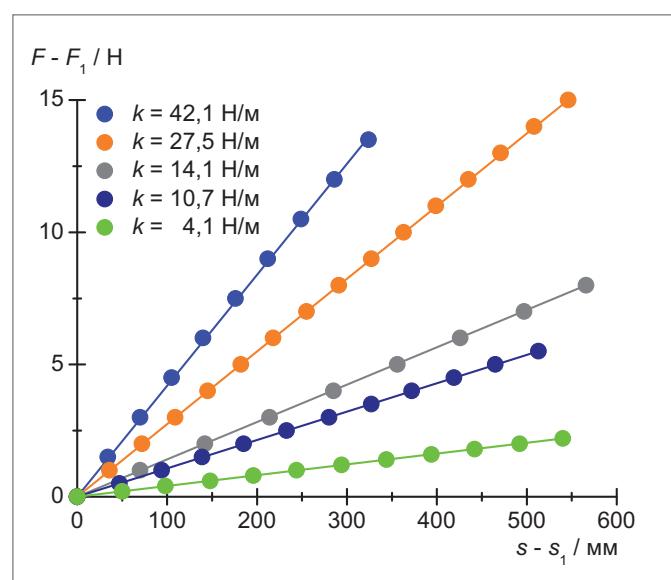


Рис. 2: Нагрузка как функция изменения длины

UE1020300 | ПАРАЛЛЕЛОГРАММ СИЛ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Графическое представление равновесия трех произвольных сил.
- Аналитическое исследование точки равновесия в случае, когда силы F_1 и F_2 симметричны.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Экспериментальное исследование векторного сложения сил.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Векторное сложение сил можно просто и наглядно представить на столе для демонстрации сил. Точка приложения трех отдельных сил в состоянии равновесия находится строго по середине стола. Величины отдельных сил определяются по подвешенным грузикам, а угол каждого из векторов силы (направление действия каждой из сил) определяется с помощью транспортира. Результат опыта можно оценить аналитически или представить графически.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Стол для демонстрации сил	1000694

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Силы – это векторы, и, следовательно, их можно складывать, используя правила сложения векторов. Чтобы представить сумму двух векторов графически, начало второго вектора помещается в точку конца первого вектора. Стрелка из точки начала первого вектора до точки конца второго вектора представляет собой вектор, полученный в результате сложения этих векторов. Если построить параллелограмм (в котором два складываемых вектора являются сторонами), диагональ, проведенная из угла начальной точки в противоположный угол, будет представлять собой результат сложения векторов (см. также Рис. 1).

Векторное сложение сил можно просто и наглядно представить на столе для демонстрации сил. Точка приложения трех отдельных сил в состоянии равновесия находится строго по середине стола. Величины отдельных сил определяются по подвешенным грузикам, а угол каждого из векторов силы (направление действия каждой из сил) определяется с помощью транспортира.

В состоянии равновесия сумма трех отдельных сил определяется выражением:

$$(1) \quad F_1 + F_2 + F_3 = 0$$

Поэтому F_3 – это сумма отдельных сил F_1 и F_2 (см. также Рис. 2):

$$(2) \quad -F_3 = F = F_1 + F_2$$

Параллельные векторные составляющие для суммы F определяются уравнением:

$$(3) \quad -F_3 = F = F_1 \cdot \cos \alpha_1 + F_2 \cdot \cos \alpha_2$$

Параллельные векторные составляющие для суммы F определяются уравнением:

$$(4) \quad 0 = F_1 \cdot \sin \alpha_1 + F_2 \cdot \sin \alpha_2$$

Уравнения (3) и (4) представляют собой математический анализ векторного сложения. Для проведения данного опыта рекомендуется направить силу F_3 так, чтобы ее угол был равен 0° . В качестве альтернативы аналитическому представлению равновесие сил можно исследовать графически. Для того чтобы это сделать, нарисуем линии, представляющие все три силы и исходящие из центральной точки приложения. Отметим величину и угол каждой силы. Затем сместим силы F_2 и F_3 вдоль параллельных линий, пока точка начала не окажется в конце предыдущего вектора. Полученный в результате вектор равен 0 (см. также Рис. 3). При проведении данного опыта эту операцию выполняют для трех произвольных сил, следя за тем, чтобы все время сохранялось состояние равновесия.

В данном опыте аналитическое наблюдение ограничивается особым случаем, когда две силы F_1 и F_2 симметричны F_3 .

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Равенство (4) выполняется в симметричном случае ($F_1 = F_2$ and $\alpha_1 = -\alpha_2$). Из уравнения (3) получаем уравнение характеристики, с помощью которого построен график на Рис. 4 (описывающий данные измерения).

$$F = 2 \cdot F_1 \cdot \cos \alpha$$

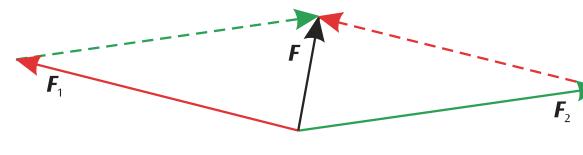


Рис. 1: Векторная сумма сил (параллелограмм сил)

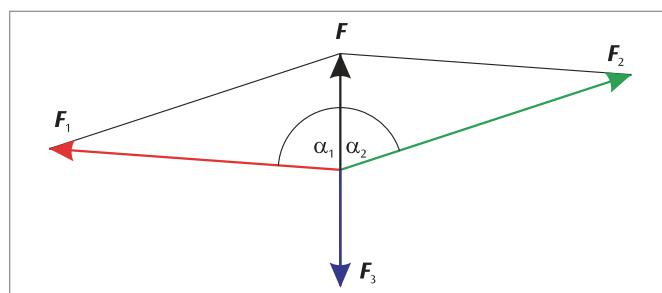


Рис. 2: Определение суммы векторов двух сил F_1 и F_2 по уравновешивающей силе F_3

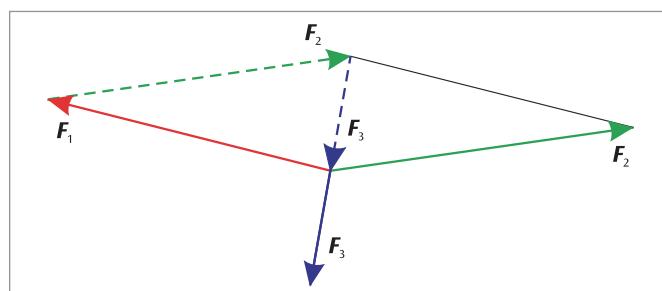


Рис. 3: Графическое исследование равновесия трех произвольных сил, действующих в различных направлениях

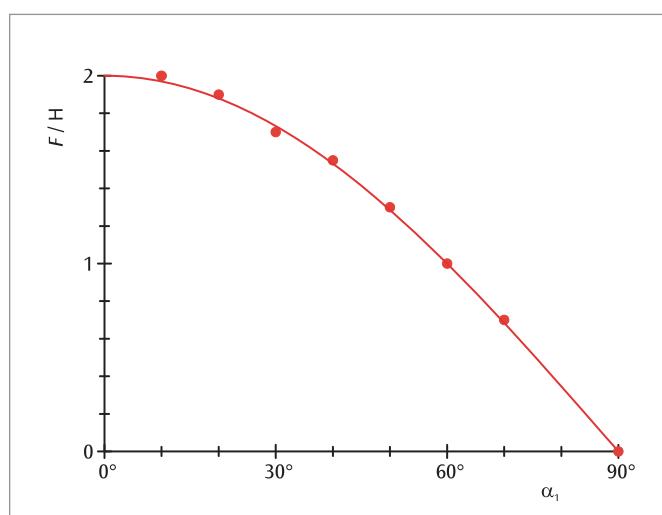


Рис. 4: Измеренная и рассчитанная суммы двух симметричных сил в зависимости от угла α_1

UE1020400 | НАКЛОННАЯ ПЛОСКОСТЬ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение составляющей F_1 веса тела, которая направлена вниз по наклонной плоскости, в зависимости от угла наклона α .
- Построение графика зависимости отношения составляющей F_1 к весу G от $\sin\alpha$.
- Расчет составляющей силы, действующей перпендикулярно плоскости, P_2

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение сил, действующих на наклонной плоскости

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

При перемещении тела по наклонной плоскости нужно преодолеть не полный вес тела G , а только ту его составляющую, которая действует параллельно плоскости, F_1 . Тот факт, что эта составляющая меньше веса, становится более очевидным по мере уменьшения угла наклона плоскости α .

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Наклонная плоскость	1003213
1	Прецизионный динамометр, 5 Н	1003106
1	Набор гирь весом от 1 г до 500 г	1010189

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

При перемещении тела по наклонной плоскости нужно преодолеть не полный вес тела G , а только ту его составляющую, которая действует параллельно плоскости, F_1 . Векторная разность между весом и составляющей, направленной вниз по плоскости, выражается составляющей, перпендикулярной плоскости, F_2 , см. Рис. 1.

Величины этих сил определяются следующими соотношениями:

$$(1) \quad F_1 = G \cdot \sin \alpha$$

$$(2) \quad F_2 = G \cdot \cos \alpha$$

В этом опыте тело подвешивается на бечевке, которая пропускается через шкив. Затем сила, действующая вдоль плоскости, уравновешивается гирьками, расположенными на чаше для гирь, которая подвешена на другом конце бечевки. Поскольку трение между телом и наклонной плоскостью повлияет на результаты опыта, в качестве значения для измерений берется среднее между самым низким и самым высоким значениями; при этом величина составляющей силы, направленной вниз по плоскости ровно такая, чтобы остановить скользывание тела вниз и не увлечь его за собой вверх по плоскости.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Чтобы оценить данные, полученные в результате опыта, отношение параллельной составляющей силы F_1 , измеренной при различных углах наклона α к весу тела G , наносится на график зависимости от $\sin \alpha$.

Все полученные значения в пределах погрешности измерений лежат на прямой, проходящей через точку начала координат.

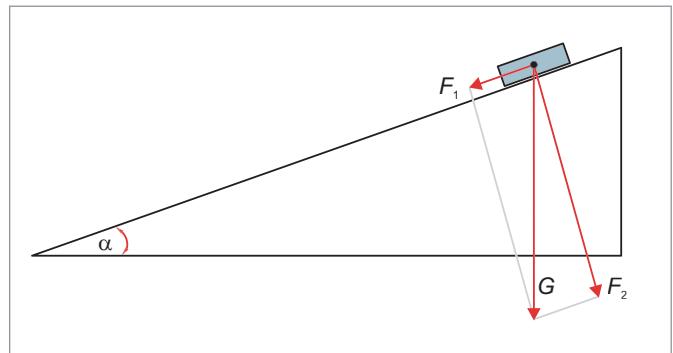


Рис. 1: Разложение веса G на векторные составляющие, параллельные плоскости, F_1 , и перпендикулярные плоскости, F_2 .

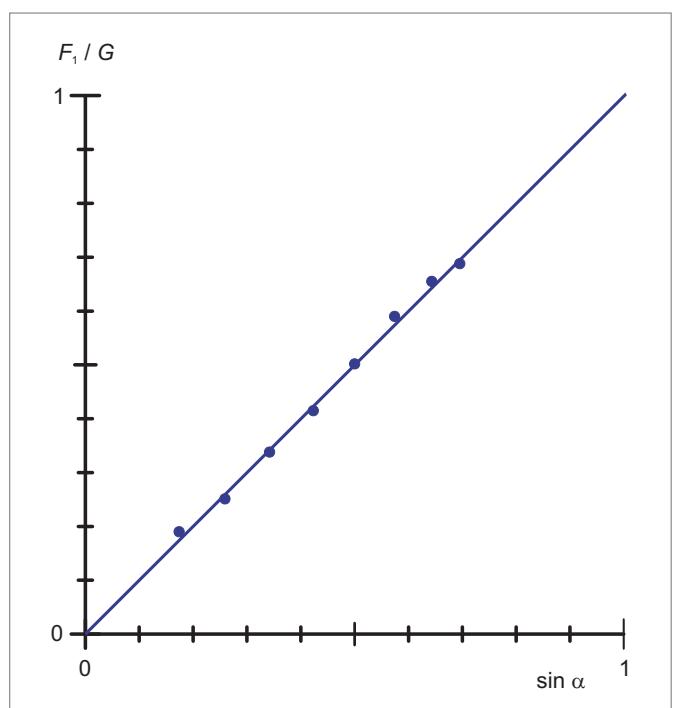


Рис. 2: Зависимость отношения составляющей F_1 к весу G от $\sin \alpha$.

UE1020850 | ЗАКОН АРХИМЕДА



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение зависимости выталкивающей силы от глубины погружения

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Закон Архимеда гласит, что на тело, погруженное в жидкость, действует сила, направленная вверх (выталкивающая сила, или сила Архимеда), F_G . Величина этой силы равна силе тяжести вытесненной жидкости. В случае тел правильной формы, погруженных в жидкость, выталкивающая сила пропорциональна глубине h , на которую погружено тело, пока эта глубина меньше высоты H самого тела.

› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение силы, действующей на тело, погруженное в воду.
- Определение выталкивающей силы и подтверждение того, что она пропорциональна глубине, на которую погружено тело.
- Определение плотности воды.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Погружающий бруск алюминия, 100 см ³	1002953
1	Прецизионный динамометр, 5 Н	1003106
1	Штангенциркуль, 150 мм	1002601
1	Набор из 10 высоких мерных стаканов	1002873
1	Лабораторный подъемник II	1002941
1	Основание стойки, треножник, размер 150 мм	1002835
1	Стойка из нержавеющей стали длиной 750 мм	1002935
1	Зажим с крючком	1002828

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Закон Архимеда гласит, что на тело, погруженное в жидкость, действует сила, направленная вверх (выталкивающая сила, или сила Архимеда), F_G . Величина этой силы равна силе тяжести вытесненной жидкости.

В случае тел правильной формы с площадью поверхности A и высотой H , погруженных в жидкость на глубину h , справедливо следующее:

$$(1) \quad F_G = \rho \cdot g \cdot A \cdot h, \text{ где } h < H$$

и

$$(2) \quad F_G = \rho \cdot g \cdot A \cdot H, \text{ где } h > H$$

В этом опыте используется брусков весом F_0 . Этот вес воздействует на динамометр в то время, как брусков погружается в воду на глубину h , так, что общая сила определяется следующим выражением:

$$(3) \quad F(h) = F_0 - F_G(h)$$

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Все измеренные значения выталкивающей силы F_G , нанесенные на график зависимости от относительной глубины погружения h/H , оказываются лежащими на прямой, проходящей через начало координат, со следующим наклоном:

$$a = \rho \cdot g \cdot A \cdot H$$

По этому наклону можно рассчитать плотность воды.

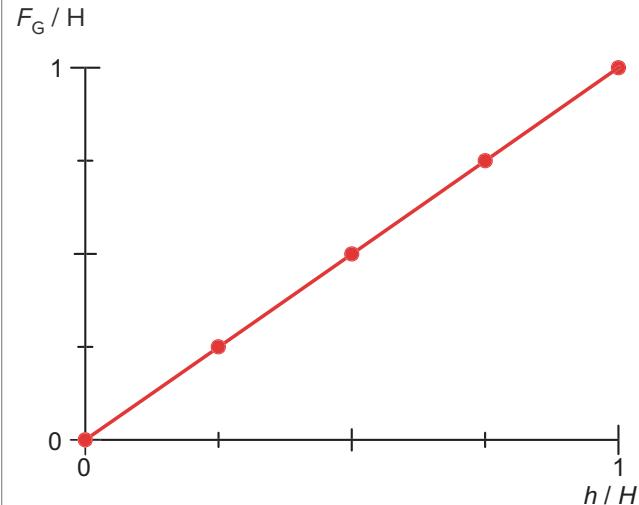


Рис. 1: Зависимость выталкивающей силы F_G от относительной глубины погружения h/H

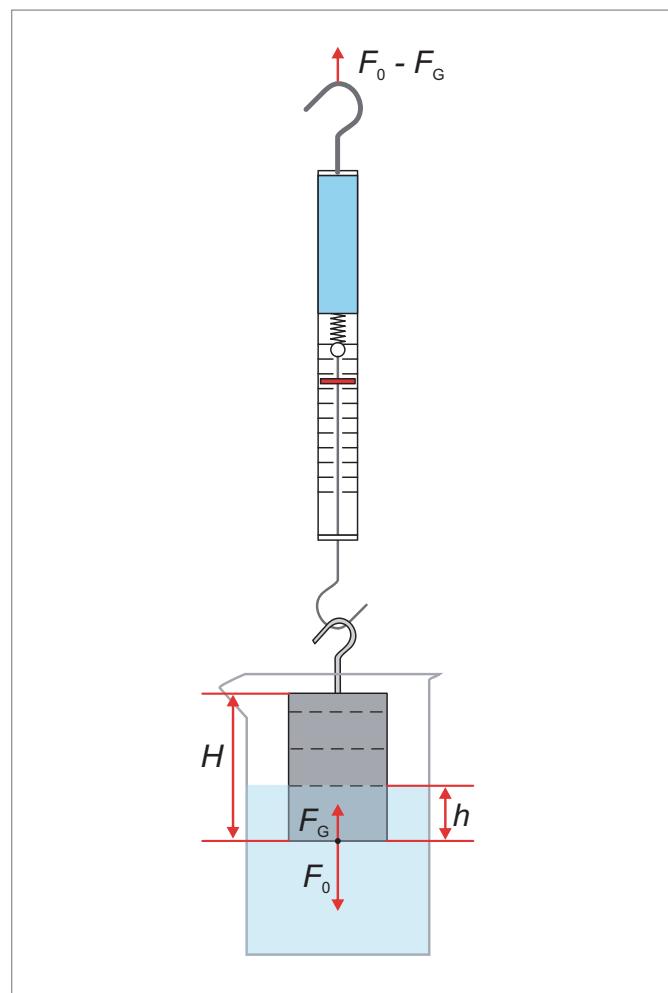
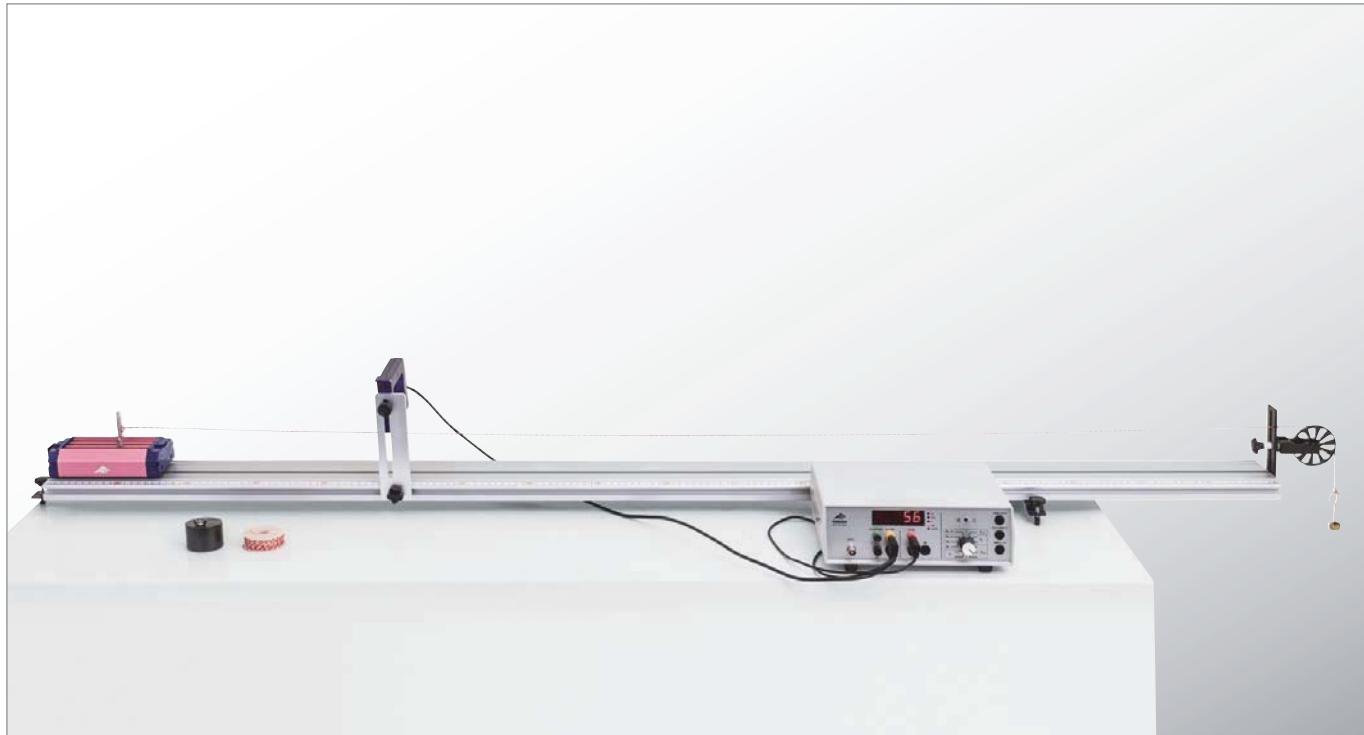


Рис. 2: Схема опыта

UE1030250 | РАВНОУСКОРЕННОЕ ДВИЖЕНИЕ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Исследовать равноускоренное движение в зависимости от массы ускоряемого тела.
- Исследовать равноускоренное движение в зависимости от массы ускоряемого тела.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение зависимости мгновенной скорости от пройденного расстояния

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В случае равномерного ускорения мгновенная скорость увеличивается с увеличением пройденного расстояния. Постоянную пропорциональность между квадратом скорости и пройденным расстоянием можно использовать для расчета ускорения. Это явление исследуется при постановке данного опыта с использованием тележки и дорожки качения. Для измерения мгновенной скорости флагок известной ширины, прикрепленный к тележке, прерывает луч света фотоэлектрического датчика. Время, в течение которого луч прерван, измеряется с помощью цифрового счетчика.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Дорожка с тележками	1018102
1	Рамка с фотоэлементами	1000563
1	Цифровой счетчик (230 В, 50/60 Гц)	1001033 или
	Цифровой счетчик (115 В, 50/60 Гц)	1001032
1	Набор гирь с прорезью, 10 x 10 г	1003227
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см	1002849
1	Бечевка для опытов длиной 100 м	1007112

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

В случае равномерного ускорения скорость v и пройденное расстояние s увеличиваются со временем t . Таким образом, скорость возрастает по мере того, как расстояние становится больше.

Мгновенная скорость после истечения периода времени t выражается следующим образом:

$$(1) \quad v(t) = a \cdot t$$

Пройденное расстояние определяется выражением:

$$(2) \quad s(t) = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Отсюда получаем следующее:

$$(3) \quad v(s) = \sqrt{2 \cdot a \cdot s}$$

и

$$(4) \quad v^2(s) = 2 \cdot a \cdot s$$

Мгновенная скорость определяется следующим выражением:

$$(5) \quad v = \frac{\Delta s}{\Delta t}$$

Чтобы измерить мгновенную скорость в этом опыте, флагок-прерыватель известной ширины Δs крепится к тележке и прерывает луч света фото-электрического датчика, когда тележка проезжает мимо него. Время Δt , в течение которого луч оказывается прерван, измеряется с помощью цифрового счетчика.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

При построении графика зависимости квадратов мгновенного ускорения каждого прохода тележки, рассчитанного по времени, в течение которого луч оказывается прерван, от пройденного расстояния, ожидается, что будет получено линейное соотношение в случае равномерного ускорения, описываемое выражением (4). Наклон прямой, проходящей через точку начала координат, равен удвоенному ускорению.

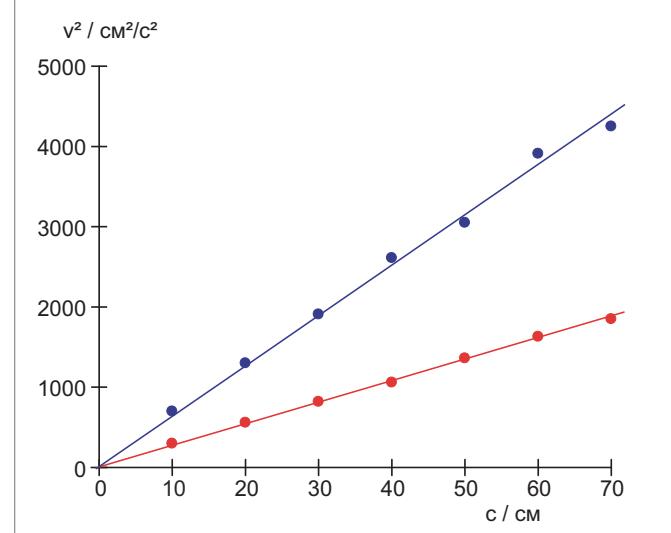


Рис. 2: График v^2 - s для $m_2 = 500$ г, $m_1 = 10$ г (красный), 20 г (синий)

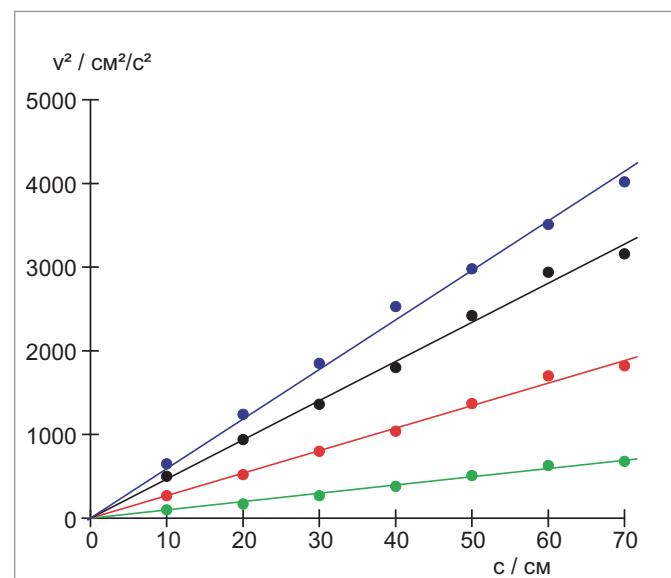
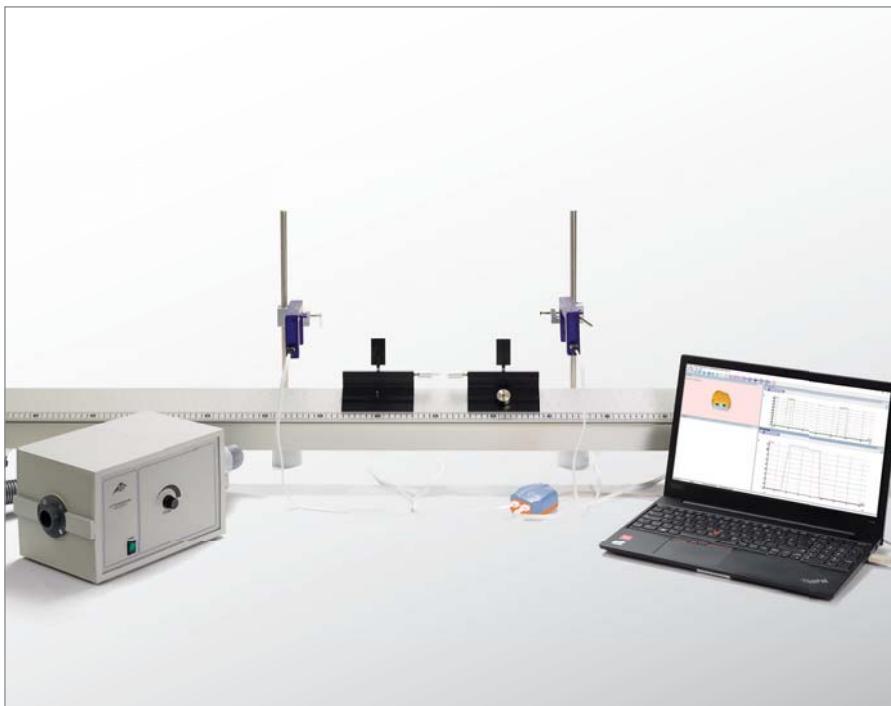


Рис. 3: График v^2 - s для $m_2 = 1000$ г, $m_1 = 10$ г (зеленый), 20 г (красный), 30 г (черный), 40 г (синий)



Рис. 1: Схема опыта

UE1030280 | ЗАКОНЫ СОУДАРЕНИЯ



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Исследование прямолинейных соударений на воздушной дорожке

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Одним из важных выводов из третьего закона Ньютона является сохранение импульса при соударении двух тел. Одним из способов проверки этого является исследование соударения двух скользящих тел на воздушной дорожке. Когда сохраняется вся кинетическая энергия, мы говорим об упругих соударениях. В случаях, когда кинетическая энергия сохраняется только для общего центра тяжести двух тел, мы используем термин «неупругие соударения». В этом опыте отдельные скорости скользящих тел определяются по времени пересечения фотозлементов световых барьеров, а значения импульсов вычисляются, исходя из этих скоростей.

› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Исследовать упругие и неупругие соударения двух скользящих тел на воздушной дорожке.
- Показать сохранение импульса при упругих и неупругих соударениях и наблюдать отдельные импульсы для упругих соударений.
- Исследовать распределение энергии при упругих и неупругих соударениях.

ТРЕБУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Воздушная дорожка	1021090
1	Генератор воздушного потока (230 В, 50/60 Гц)	1000606 или
	Генератор воздушного потока (115 В, 50/60 Гц)	1000605
1	WiLab *	1022284
2	Соединительный провод MiniDIN8 – BT	1003122
2	Рамка с фотозлементами	1000563
2	Тяжелая круглая опора, масса 1000 г	1002834
2	Универсальный зажим	1002830
2	Стержень из нержавеющей стали, длина 470 мм	1002934
Дополнительно требуется		
1	Лицензия инструктора 7	
Дополнительно рекомендуемое оборудование		
1	Механические весы 610	1003419

* Вариант замены: 1 VinciLab 1021477

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Одним из важных выводов из третьего закона Ньютона является сохранение импульса при соударении двух тел. Одним из способов проверки этого является исследование соударения двух скользящих тел на воздушной дорожке.

В системе координат их общего центра тяжести полный импульс двух тел массой m_1 и m_2 равен нулю до и после соударения.

$$(1) \quad \tilde{p}_1 + \tilde{p}_2 = \tilde{p}'_1 + \tilde{p}'_2 = 0$$

\tilde{p}_1, \tilde{p}_2 : Отдельные импульсы перед соударением, $\tilde{p}'_1, \tilde{p}'_2$: Отдельные импульсы после соударения

Кинетическая энергия двух скользящих тел в общей системе координат определяется выражением

$$(2) \quad \tilde{E} = \frac{\tilde{p}_1^2}{2m_1} + \frac{\tilde{p}_2^2}{2m_2}$$

В зависимости от характера соударения кинетическая энергия может быть частично или даже полностью преобразована в другие виды энергии. Когда вся кинетическая энергия сохраняется в системе координат общего центра тяжести, мы говорим об упругих соударениях. При неупругом соударении вся энергия преобразуется в другую форму. При использовании собственно дорожки в качестве системы координат сохранение импульса описывается следующим уравнением:

$$(3) \quad p_1 + p_2 = p'_1 + p'_2 = p = \text{const.}$$

p_1, p_2 : Отдельные импульсы перед соударением
 p'_1, p'_2 : Отдельные импульсы после соударения

В результате сохранения импульса скорость центра тяжести

$$(4) \quad v_c = \frac{p}{m_1 + m_2}.$$

и его кинетическая энергия

$$(5) \quad E_c = \frac{m_1 + m_2}{2} \cdot v_c^2$$

также сохраняются. Это справедливо как для упругих, так и для неупругих соударений. В этом опыте изначально второе скользящее тело перед соударением находится в состоянии покоя. Следовательно, сохранение импульса (уравнение 3) определяется выражением

$$(6) \quad p = m_1 \cdot v_1 = m_1 \cdot v'_1 + m_2 \cdot v'_2,$$

Здесь скорости v'_1 и v'_2 имеют разные значения после упругого соударения, но одинаковые после неупругого соударения. При упругом соударении плоский буфер на первом скользящем теле ударяется о натянутую на второе скользящее тело резиновую ленту. Для опыта с неупругим соударением использован длинный остроконечный стержень, воткнутый в пластилин. Массы скользящих тел можно изменять добавлением грузов.

В случае упругого соударения справедливы следующие соотношения:

$$(7) \quad p'_1 = \frac{m_1 - m_2}{m_1 + m_2} \cdot p, \quad p'_2 = \frac{2 \cdot m_2}{m_1 + m_2} \cdot p$$

и

$$(8) \quad E = \frac{m_1}{2} \cdot v_1^2 = \frac{m_1}{2} \cdot v'_1^2 + \frac{m_2}{2} \cdot v'_2^2$$

В случае неупругого соударения сохраняется только кинетическая энергия центра тяжести. Ее можно рассчитать с помощью уравнений (4), (5) и (6)

$$(9) \quad E_c = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot \frac{m_1}{2} \cdot v_1^2 = \frac{m_1}{m_1 + m_2} \cdot E$$

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Интервалы времени Δt , регистрируемые компьютерной программой, следует сопоставить с экспериментальными процедурами. Для определения скорости скользящих тел применимо следующее выражение:

$$v = \frac{25 \text{ мм}}{\Delta t}$$

Для точной оценки распределения скоростей и импульса следует также принимать во внимание потери на трение. Полученные значения импульса достигают приблизительно 5%, а значения энергии – 10%, см. Рис. 1–5.

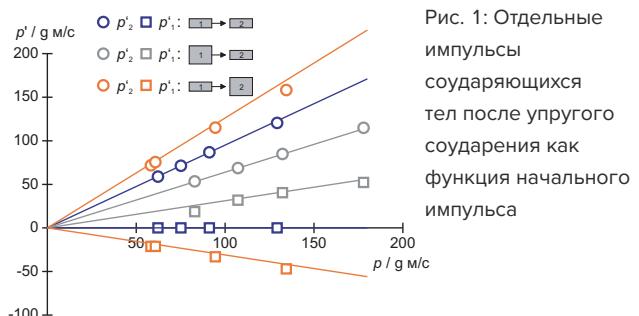


Рис. 1: Отдельные импульсы соударяющихся тел после упругого соударения как функция начального импульса

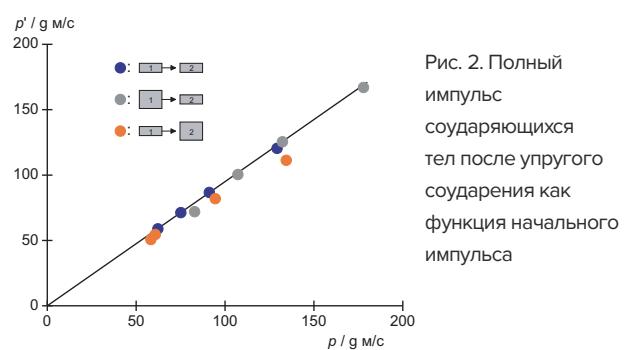


Рис. 2. Полный импульс соударяющихся тел после упругого соударения как функция начального импульса

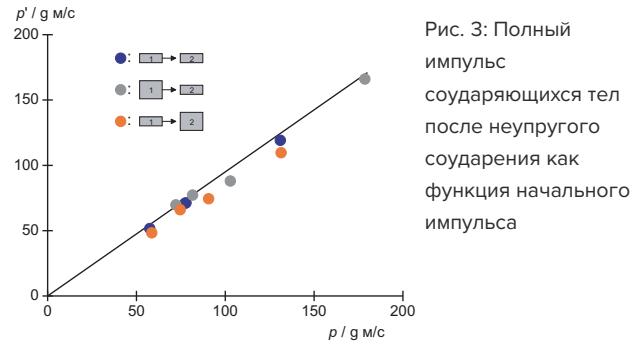


Рис. 3: Полный импульс соударяющихся тел после неупругого соударения как функция начального импульса

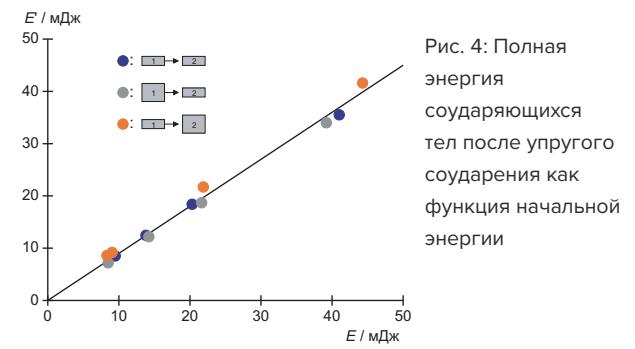


Рис. 4: Полная энергия соударяющихся тел после упругого соударения как функция начальной энергии

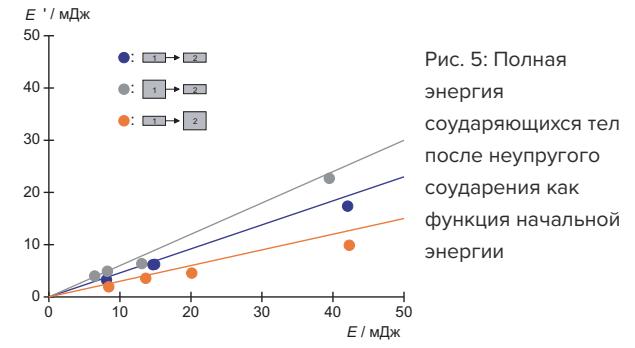
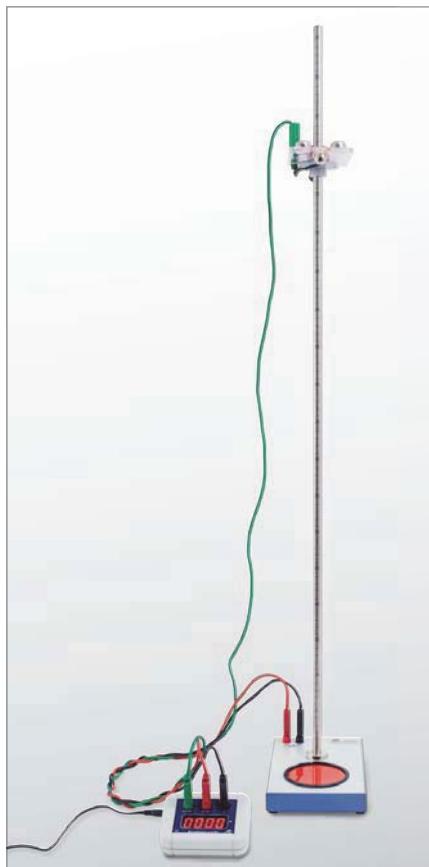


Рис. 5: Полная энергия соударяющихся тел после неупругого соударения как функция начальной энергии

UE1030300 | СВОБОДНОЕ ПАДЕНИЕ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение времени t , за которое шарик пролетает в свободном падении расстояние h между спусковым механизмом и кружком внизу.
- Построение точек графика зависимости пройденного расстояния от времени для случая равноускоренного движения.
- Проверка того, что пройденное при падении расстояние пропорционально квадрату времени.
- Расчет ускорения свободного падения g .

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение ускорения свободного падения

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

При свободном падении пройденное расстояние h пропорционально квадрату времени t , за которое тело пролетает это расстояние. Коэффициент этой пропорциональности можно использовать для расчета ускорения свободного падения g .

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Устройство для изучения свободного падения	1000738
1	Цифровой счетчик (230 В, 50/60 Гц)	1012833 или
	Цифровой счетчик (115 В, 50/60 Гц)	1012832
1	Набор из 3 безопасных соединительных проводов для опытов	1002848

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Если тело падает на землю под действием поля тяготения Земли с высоты h , оно испытывает постоянное ускорение g , и пока скорость падения мала, трением можно пренебречь. Такое движение называется свободным падением.

В этом опыте стальной шарик подвешивается на спусковом механизме. Как только он отпускается в свободное падение, запускается электронный таймер. После того как он проходит в падении расстояние h , шарик ударяется о кружок внизу, который останавливает измерение времени в момент времени t . Поскольку шарик до этого был неподвижен, он начинает падение в момент времени $t_0 = 0$, и его начальная скорость равна нулю, т.е. $v_0 = 0$. Поэтому расстояние, которое он проходит за время t , выражается следующим образом:

$$(1) \quad h = \frac{1}{2} \cdot g \cdot t^2$$

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Первый вариант:

Время падения изменяется в соотношении 2:1, если высота падения изменяется в соотношении 4:1. Это подтверждает то, что высота пропорциональна квадрату времени.

Второй вариант:

Результаты измерений для различных высот падения следует нанести на график зависимости пройденного расстояния от времени. Высота h не линейно пропорциональна времени t , в чем можно убедиться, попытавшись аппроксимировать кривую прямой линией, а затем – параболой. Чтобы получить прямую линию, нужно построить зависимость высоты от квадрата времени. Полученная таким образом прямолинейная зависимость подтверждает уравнение (1). Наклон такой линии соответствует ускорению свободного падения.

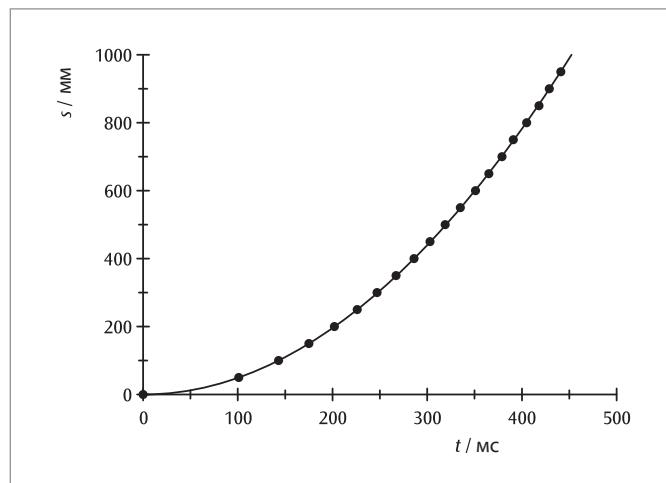


Рис. 1: График зависимости пройденного расстояния от времени при свободном падении

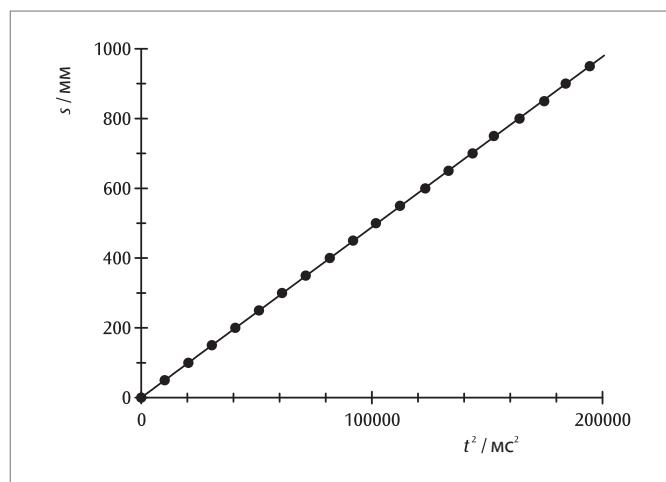
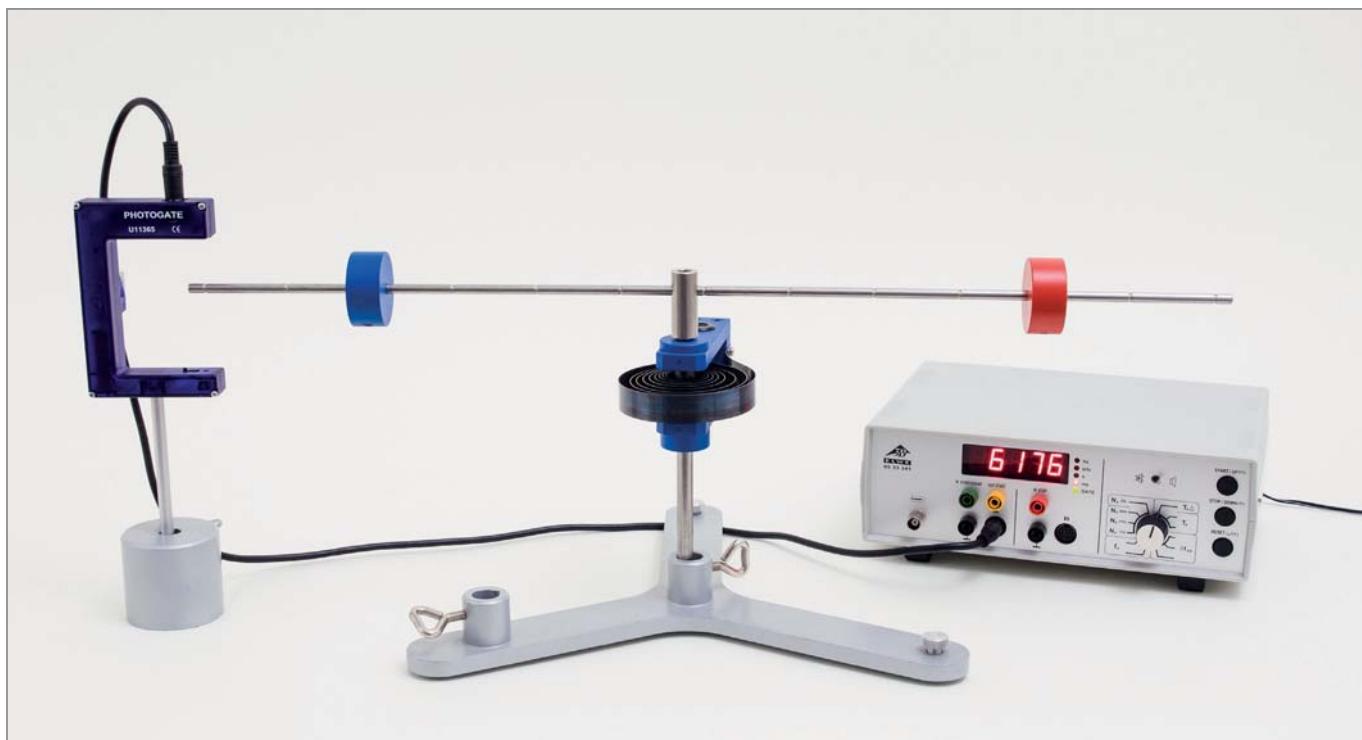


Рис. 2: График зависимости высоты от квадрата времени

UE1040205 | МОМЕНТ ИНЕРЦИИ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Определение крутильного коэффициента D_f пружин, используемых для сцепления тел.
- Определение момента инерции J штанги без гирь.
- Определение зависимости момента инерции J от расстояния r между гирей и осью вращения.
- Определение зависимости момента инерции J деревянного диска, деревянного шара, полого и сплошного цилиндров.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение момента инерции различных тел

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Момент инерции тела, вращающегося вокруг своей оси, зависит от того, как распределяется его масса относительно этой оси. Эта зависимость исследуется при помощи штанги с двумя гирями, которые располагаются симметрично относительно оси вращения, деревянного диска, деревянного шара, а также полого и сплошного цилиндров. Период колебаний исследуемых тел зависит от распределения массы и эффективного радиуса тела.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Крутильная ось	1008662
1	Рамка с фотоэлементами	1000563
1	Цифровой счетчик (230 В, 50/60 Гц)	1001033 или
	Цифровой счетчик (115 В, 50/60 Гц)	1001032
1	Тяжелая круглая опора весом 1000 г	1002834
1	Основание стойки, треножник, размер 185 мм	1002836
1	Прецизионный динамометр, 1 Н	1003104
1	Набор испытательных тел для крутильной оси	1021752

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Инерция твердого тела в отношении изменения его вращательного движения вокруг неподвижной оси определяется его моментом инерции J . Он зависит от распределения массы тела относительно оси вращения и возрастает с увеличением расстояния до оси вращения.

В общем случае момент инерции определяется с помощью объемного интеграла:

$$(1) \quad J = \int_V r_s^2 \cdot \rho(r) \cdot dV$$

r_s : составляющая r , перпендикулярная оси вращения,
 $\rho(r)$: распределение массы в теле

Возьмем в качестве примера штангу с двумя гирями массой m , симметрично расположеннымми на расстоянии r от оси вращения. Тогда момент инерции определяется следующим образом:

$$(2) \quad J = J_0 + 2 \cdot m \cdot r^2$$

J_0 : момент инерции штанги без гирь

Теперь мы можем прикрепить различные тела к кривильной оси, чтобы они могли колебаться. Если период колебания равен T , справедливо следующее:

$$(3) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{J}{D_r}}$$

D_r : крутильный коэффициент цилиндрических пружин

Это означает, что период колебания T будет возрастать с увеличением момента инерции J .

Крутильный коэффициент цилиндрических пружин можно определить с помощью пружинного динамометра:

$$(4) \quad D_r = \frac{F \cdot r}{\alpha}$$

α : отклонение от состояния равновесия

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Из выражения (3) можно получить формулу для определения момента инерции:

$$J = D_r \cdot \frac{T^2}{4\pi^2}$$

В случае установки со штангой с гирями необходимо вычесть момент инерции самой штанги:

$J(\text{гири}) - J(\text{штанга} + \text{гири}) - J(\text{штанга}).$

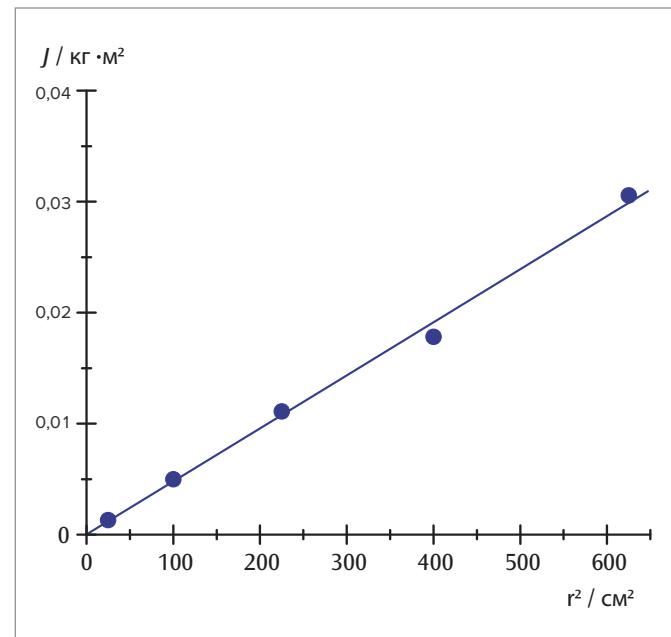


Рис. 1: Зависимость момента инерции J гирь от их расстояния r от оси вращения

UE1040320 | МАЯТНИК МАКСВЕЛЛА



ЦЕЛЬ ОПЫТА
Подтверждение сохранения
энергии с помощью маятника
Максвелла

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Диск маятника Максвелла подвешен на нитях за оба конца его оси так, что нити могут наматываться на ось диска. В ходе движения потенциальная энергия маятника переходит в кинетическую и обратно. Процесс перемещения маятника вверх и вниз повторяется до тех пор, пока потенциальная энергия, полученная за счет начальной высоты диска, не будет полностью потеряна за счет отражения и трения. В этом опыте движение маятника Максвелла регистрируется ультразвуковым датчиком движения. Из полученного графика движения в зависимости от времени можно определить мгновенную скорость диска и вычислить его кинетическую энергию.

› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Построить график перемещения в зависимости от времени и график зависимости скорости от времени для начального движения вниз.
- Определить ускорение и момент инерции.
- Определить кинетическую энергию и потенциальную энергию при движении вверх и вниз.
- Подтвердить сохранение энергии с учетом потерь на отражение и трение.

ТРЕБУЕМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Маятник Максвелла	1000790
1	WiLab *	1022284
1	Датчик движения для WiLab *	1022288
1	Стойка на H-образном основании	1018874
2	Стержень из нержавеющей стали длиной 1500 мм	1002937
2	Универсальный зажим	1002830

Дополнительно требуется

1	Лицензия инструктора 7
---	------------------------

Дополнительно рекомендуемое оборудование

1	Электронные весы, 5000 г	1003434
1	Штангенциркуль, 150 мм	1002601

* Варианты замены: 1 EMotion 1021673 или 1 VinciLab 1021477 и 1 датчик движения 1021683

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Диск маятника Максвелла подвешен на нитях за оба конца его оси так, что нити могут наматываться на ось диска. Когда он движется, потенциальная энергия все в большей и большей степени переходит в кинетическую энергию вращающегося диска. После полного разматывания нитей они начинают наматываться в противоположном направлении, и диск поднимается, при этом кинетическая энергия преобразуется обратно в потенциальную, пока вся кинетическая энергия не передаст в потенциальную. Затем диск опять устремляется вниз и обратно, до тех пор пока потенциальная энергия, полученная за счет начальной высоты маятника, не будет полностью потеряна за счет отражения и трения.

При вращении диск движется вверх и вниз со скоростью v . Скорость определяется следующей заданной зависимостью от угловой скорости ω , с которой диск вращается вокруг своей оси:

$$(1) \quad v = \omega \cdot r, \text{ где } r: \text{радиус оси.}$$

Таким образом, общая энергия определяется выражением

$$(2) \quad E = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot I \cdot \omega^2 + \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2 \\ = m \cdot g \cdot h + \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{I}{m \cdot r^2} + 1 \right) \cdot v^2$$

m : масса, I : момент инерции,

h : высота над нижней точкой обратного хода,

g : ускорение свободного падения

Эта формула описывает поступательное движение с направленным вниз ускорением, которое определяется выражением

$$(3) \quad \dot{v} = a = \frac{g}{\frac{I}{m \cdot r^2} + 1}$$

Это ускорение определяется в опыте по расстоянию, пройденному за время t

$$(4) \quad s = \frac{1}{2} \cdot a \cdot t^2$$

Его также можно определить по мгновенной скорости, достигаемой по истечении времени t

$$(5) \quad v = a \cdot t$$

В этом опыте движение маятника Максвелла регистрируется ультразвуковым датчиком движения. Из полученного графика движения в зависимости от времени можно определить мгновенную скорость диска и вычислить его кинетическую энергию.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Если масса диска маятника m и радиус его оси r известны, момент инерции можно определить по ускорению a .

В соответствии с уравнением (3) справедливо следующее:

$$I = m \cdot r^2 \cdot \left(\frac{g}{a} - 1 \right).$$

Мгновенные скорости v можно определить, построив график перемещения в зависимости от времени. Кинетические энергии $E_{\text{кин}}$ вычисляются следующим образом:

$$E_{\text{кин}} = \frac{1}{2} \cdot m \cdot \left(\frac{I}{m \cdot r^2} + 1 \right) \cdot v^2.$$

Потенциальная энергия определяется по формуле

$$E_{\text{пот}} = m \cdot g \cdot h.$$

Потери энергии, которые ясно видны на Рис. 3, описываются достаточно хорошо, если учитывать постоянную силу трения, действующую в направлении, противоположном направлению движения, и значительную потерю энергии при изменении направления в нижней точке.

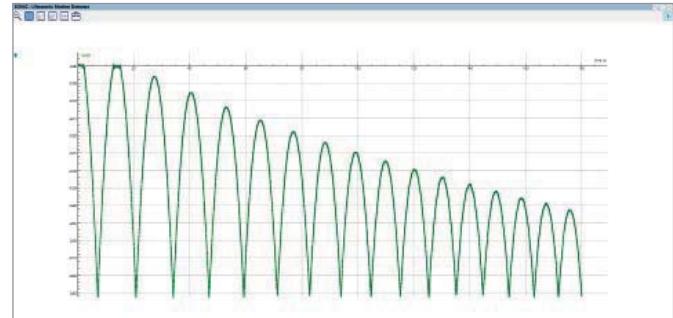


Рис. 1: График перемещения в зависимости от времени

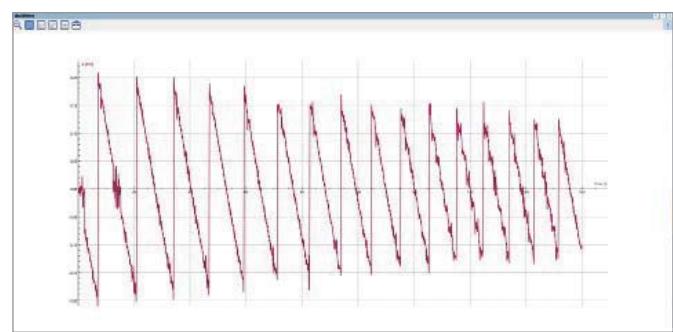


Рис. 2: График скорости в зависимости от времени

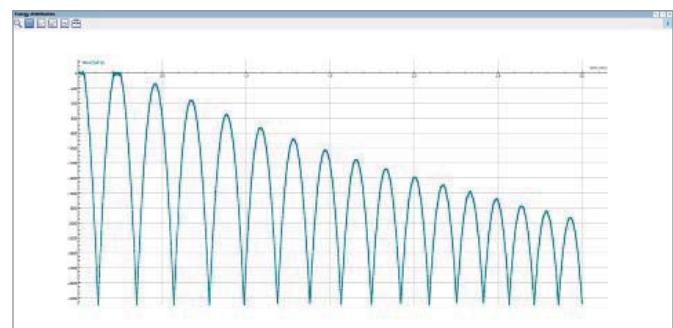


Рис. 3: Распределение энергии как функция времени

UE1050201 | МАЯТНИК С ПЕРЕМЕННЫМ g



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение зависимости периода T от эффективной составляющей ускорения свободного падения $g_{\text{эфф}}$.
- Измерение периода T при различных длинах маятника L .

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение зависимости периода колеблющегося маятника от эффективной составляющей ускорения свободного падения

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Период маятника удлиняется при отклонении его оси от горизонтали, поскольку эффективная составляющая ускорения свободного падения уменьшается.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Маятник с переменным g	1000755
1	Подставка для рамки с фотоэлементами	1000756
1	Рамка с фотоэлементами	1000563
1	Цифровой счетчик (230 В, 50/60 Гц)	1001033 или
	Цифровой счетчик (115 В, 50/60 Гц)	1001032
1	Основание стойки, треножник, размер 150 мм	1002835
1	Стойка из нержавеющей стали длиной 470 мм	1002934

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Период маятника математически определяется длиной маятника L и ускорением, вызванным действием силы тяжести, g . Действие ускорения свободного падения можно продемонстрировать, отклоняя ось маятника так, чтобы она оказалась не в горизонтальном положении.

При отклонении оси составляющая ускорения свободного падения g , которая параллельна оси, $g_{\text{пар}}$, перестает действовать ввиду того, что ось остается на месте (см. рис. 1). Оставшаяся составляющая, которая продолжает действовать, $g_{\text{эфф}}$, определяется следующим уравнением:

$$(1) \quad g_{\text{эфф}} = g \cdot \cos \alpha$$

α : отклонение оси от горизонтали

Если маятник отклоняется на угол φ от своего положения покоя, подвешенный грузик массой m испытывает воздействие силы, которая стремится вернуть его обратно и имеет величину:

$$(2) \quad F = -m \cdot g_{\text{эфф}} \cdot \sin \varphi$$

При малых углах уравнение движения маятника принимает следующий вид:

$$(3) \quad m \cdot L \cdot \varphi + m \cdot g_{\text{эфф}} \cdot \varphi = 0$$

Тогда угловая частота колебаний маятника:

$$(4) \quad \omega = \sqrt{\frac{g_{\text{эфф}}}{L}}$$

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Из уравнения (4) следует, что период маятника выражается следующим образом:

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{L}{g_{\text{эфф}}}}$$

Таким образом, укорочение маятника приводит к тому, что период становится короче, а уменьшение эффективной составляющей ускорения свободного падения делает период длиннее.

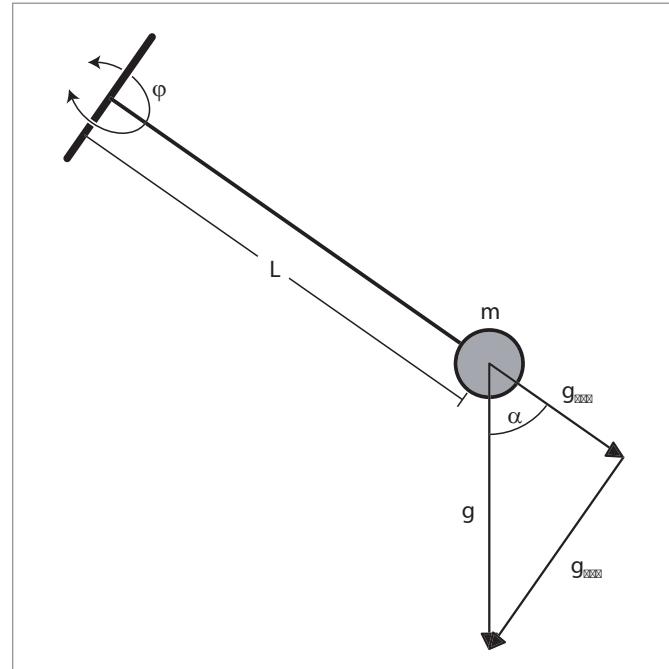


Рис. 1: Маятник с переменным g (схема)

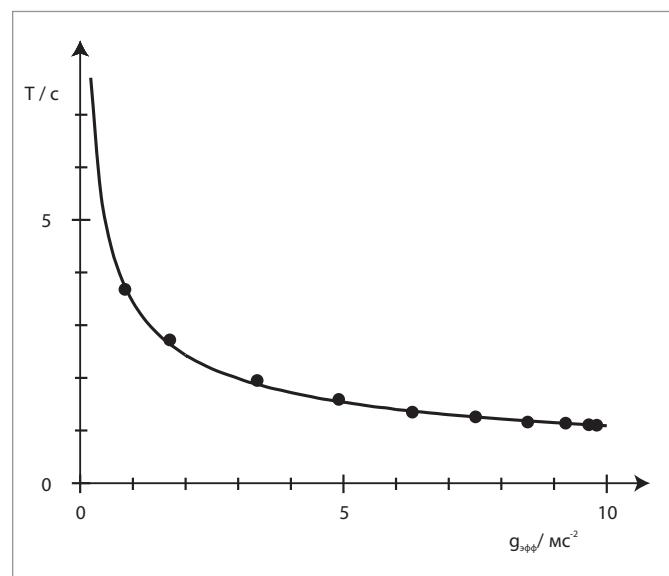


Рис. 2: Зависимость периода маятника от эффективной составляющей ускорения свободного падения. Линия, рассчитанная для длины маятника $L = 30$ см

UE105031 | ПРОСТЫЕ ГАРМОНИЧЕСКИЕ КОЛЕБАНИЯ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Регистрация зависимости гармонического колебания пружинного маятника от времени с помощью ультразвукового датчика движения.
- Определение периода колебания T при различных сочетаниях жесткости пружины k и массы m .

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение колебаний пружинного маятника с помощью ультразвукового

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Колебания пружинного маятника представляют собой классический пример простых гармонических колебаний. В этом опыте такие колебания регистрируются с помощью ультразвукового датчика движения, который определяет расстояние до подвешенного грузика маятника.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Набор цилиндрических пружин для демонстрации закона Гука	1003376
1	Набор гирь с прорезью, 10 x 10 г	1003227
1	Набор гирь с прорезью, 5 x 100 г	1003229
1	Основание стойки, треножник, размер 150 мм	1002835
1	Стойка из нержавеющей стали длиной 1000 мм	1002936
1	Зажим с крючком	1002828
1	€Motion *	1021673
1	Карманная рулетка длиной 2 м	1002603

Дополнительно требуется

1	Coach 7 License
---	-----------------

* Варианты замены: 1 WiLab 1022284 и 1 датчик движения 1022288 или 1 VinciLab 1021477 и 1 датчик движения 1021683

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Колебания возникают, когда систему выводят из положения равновесия под действием силы, стремящейся вернуть систему в положение равновесия. Такое колебание называется простым гармоническим колебанием, если сила, возвращающая систему в положение равновесия, всегда пропорциональна отклонению из положения равновесия. Колебания пружинного маятника представляют собой классический пример такого колебания. Пропорциональность отклонения и силы, возвращающей систему в положение равновесия, описывается законом Гука.

Этот закон гласит, что взаимосвязь между отклонением x и силой, возвращающей систему в положение равновесия, F определяется выражением:

$$(1) \quad F = -k \cdot x$$

где k = жесткость пружины

В случае грузика массой m , подвешенного на пружине, справедливо следующее:

$$(2) \quad m \cdot \frac{d^2x}{dt^2} + k \cdot x = 0$$

Это выражение справедливо, если можно пренебречь массой самой пружины и трением, которое может возникать.

В общем случае решения этого уравнения движения имеют вид:

$$(3) \quad x(t) = A \cdot \sin\left(\sqrt{\frac{k}{m}} \cdot t + \varphi\right)$$

Это и будет проверено в данном опыте путем записи зависимости гармонических колебаний пружинного маятника от времени с помощью ультразвукового датчика движения и сопоставления полученных данных измерения с функцией синуса.

Ультразвуковой датчик движения определяет расстояние между ним и грузиком, подвешенным на пружине. За исключением смещения из нулевой точки, которое можно компенсировать путем калибровки, измерение напрямую соответствует переменной $x(t)$ в выражении (3). Период колебания T определяется как интервал между двумя точками, в которых синусоида пересекает нулевую ось в одном направлении. Таким образом, из выражения (3) получаем, что период равен:

$$(4) \quad T = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m}{k}}$$

Чтобы проверить справедливость выражения (4), измерения проводятся для различных сочетаний массы m и жесткости пружины k , а период колебания определяется по точкам, в которых кривая, соответствующая данным измерения, пересекает нулевую ось.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Из выражения (4) можно получить следующее:

$$T^2 = \frac{4\pi^2}{k} \cdot m$$

Соответственно, результаты измерений наносятся на график зависимости T^2 от m : при этом различные значения жесткости пружины k используются в качестве параметров. В пределах погрешности измерений результаты наносятся на прямую линию, проходящую через начало координат, наклон которой можно рассчитать с помощью второго графика.

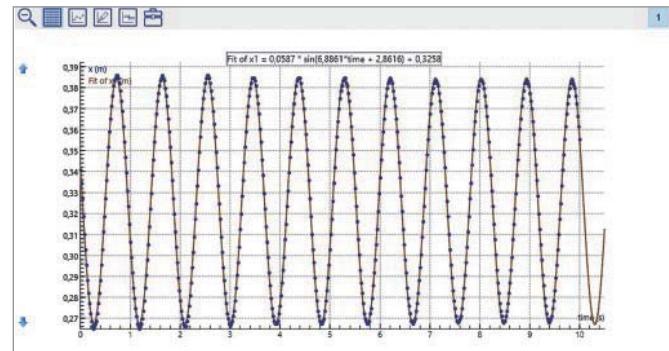


Рис. 1: Записанные данные колебаний после согласования с синусоидой

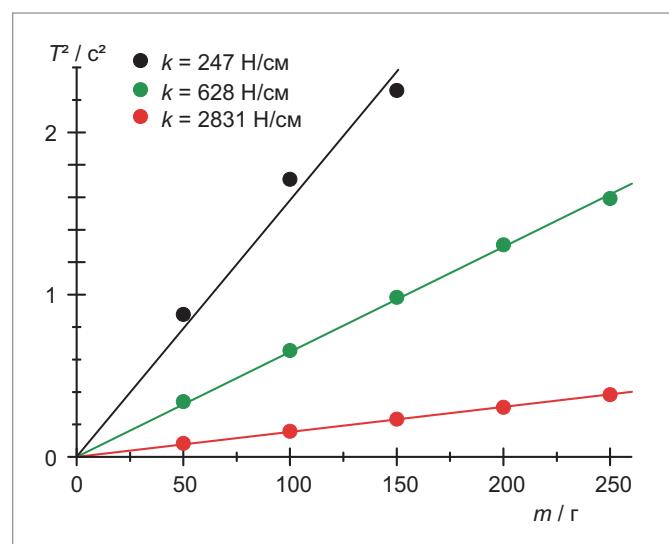


Рис. 2: Зависимость T^2 от m

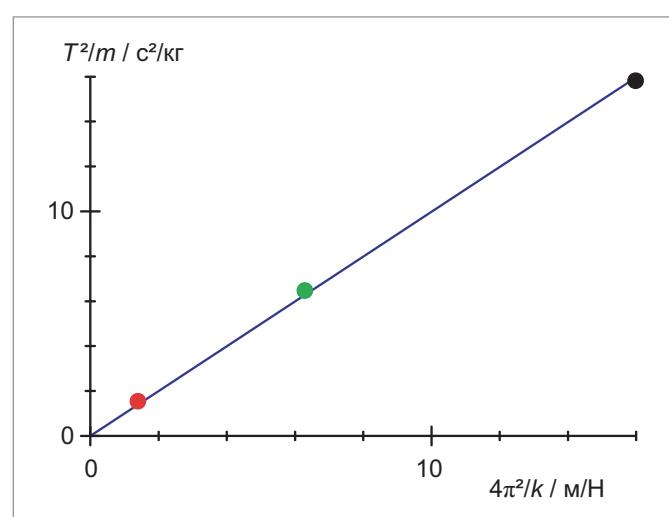
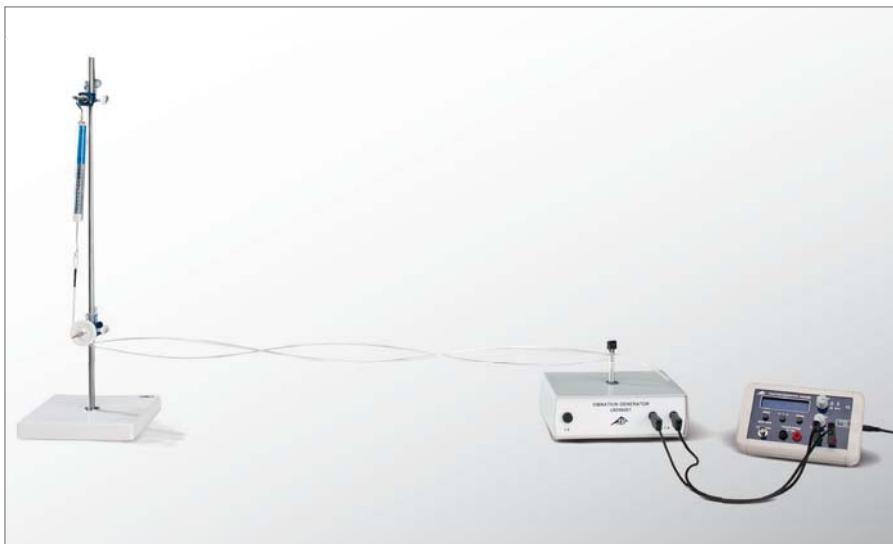


Рис. 3: Зависимость $\frac{T^2}{m}$ от $\frac{4\pi^2}{k}$

UE1050700 | МЕХАНИЧЕСКИЕ ВОЛНЫ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Возбуждение продольных стоячих волн в цилиндрической пружине и поперечных стоячих волн в натянутой веревке.
- Измерение собственной частоты f_n по числу узлов n .
- Определение соответствующей длины волны λ_n и скорости распространения волн c .

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Исследование стоячих волн в растягиваемой цилиндрической пружине и натянутой веревке.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

К примерам систем, в которых возникают механические волны, относятся растягиваемая цилиндрическая пружина, где возникают продольные волны, и натянутая веревка, где возникают поперечные волны. В любом случае стоячие волны устанавливаются, если один конец системы, где они распространяются, закрепить неподвижно. Это происходит потому, что падающая волна и отраженная от точки крепления волна имеют одинаковые амплитуды и налагаются друг на друга. Если закрепить и другой конец, волны смогут распространяться только при выполнении условий резонанса. В этом опыте цилиндрическая пружина и веревка закрепляются на одном из своих концов. Другой конец, на расстоянии L от точки неподвижного крепления, крепится к генератору вибрации, в котором генератор сигналов различной формы используется для возбуждения колебаний малой амплитуды с изменяемой частотой f . В той или иной степени этот конец также можно рассматривать как закрепленную точку. Собственная частота вибрации измеряется по количеству узлов стоячей волны. Затем по этим данным можно рассчитать скорость распространения волны.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Принадлежности для демонстрации колебаний пружины	1000703
1	Принадлежности для опытов с волнами в веревке	1008540
1	Генератор вибрации	1000701
1	Генератор сигналов различной формы FG 100 (230 В, 50/60 Гц)	1009957 или
	Генератор сигналов различной формы FG 100 (115 В, 50/60 Гц)	1009956
1	Прецизионный динамометр на 2 Н	1003105
1	Карманная рулетка длиной 2 м	1002603
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см, красный/синий	1017718

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

К примерам систем, в которых возникают механические волны, относятся растягиваемая цилиндрическая пружина и натянутая веревка. Волны, возникающие в пружине, являются продольными, поскольку направление растяжения/сжатия пружины совпадает с направлением распространения волны. Волны в веревке, напротив, являются поперечными. Это происходит потому, что падающая волна и отраженная от точки крепления волна имеют одинаковые амплитуды и налагаются друг на друга. Если закрепить и другой конец, волны смогут распространяться только при выполнении условий резонанса.

Пусть $\xi(x,t)$ – отклонение в продольном или поперечном направлении в точке x на оси, направленной вдоль среды распространения волны, в момент времени t . Тогда справедливо следующее:

$$(1) \quad \xi_1(x,t) = \xi_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t - \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Это уравнение справедливо для синусоидальной волны, бегущей слева направо вдоль среды распространения. Частота f и длина волны λ связаны следующим образом:

$$(2) \quad c = f \cdot \lambda$$

c : скорость распространения волны

Если такая волна, распространяющаяся слева направо, отражается от неподвижной точки $x = 0$, возникает волна, распространяющаяся справа налево:

$$(3) \quad \xi_2(x,t) = -\xi_0 \cdot \cos(2\pi \cdot f \cdot t + \frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Эти две волны налагаются друг на друга, в результате чего получается стоячая волна:

$$(4) \quad \xi(x,t) = 2\xi_0 \cdot \sin(2\pi \cdot f \cdot t) \cdot \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot x)$$

Эти выводы справедливы вне зависимости от характера волны или среды, в которой она распространяется.

Если другой конец также закрепить в положении $x = L$, необходимо, чтобы во все моменты времени t выполнялось следующее условие резонанса:

$$(5) \quad \xi(L,t) = 0 = \sin(\frac{2\pi}{\lambda} \cdot L)$$

Оно выполняется только тогда, когда длина волны удовлетворяет следующим условиям:

$$(6a) \quad \frac{2\pi}{\lambda_n} \cdot L = (n+1) \cdot \pi, \quad \lambda_n = 2 \cdot \frac{L}{n+1}$$

$$\text{или } L = (n+1) \cdot \frac{\lambda_n}{2}$$

Тогда, согласно уравнению (2), частота равна:

$$(6b) \quad f_n = (n+1) \cdot \frac{c}{2 \cdot L}$$

Это подразумевает, что условие резонанса (5) выполняется, только если длина L кратна половине длины волны. Резонансная частота должна соответствовать этой длине волны. В этом случае n – количество узлов колебания. Оно равно нулю, если в основном колебании имеется только одна пучность (см. Рис. 2).

В этом опыте средой, где распространяется волна, является либо пружина, либо веревка, которые закреплены одним концом к некоторой неподвижной точке. Другой конец соединяется с генератором вибрации на расстоянии L от этой неподвижной точки. В нем генератор сигналов различной формы используется для возбуждения колебаний малой амплитуды с изменяемой частотой f . В той или иной степени этот конец также можно рассматривать как закрепленную точку.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Если построить график зависимости частоты от количества узлов стоячей волны, точки этого графика окажутся на прямой с наклоном:

$$\alpha = \frac{c}{2 \cdot L}$$

Поэтому, если известно расстояние L , можно рассчитать скорость распространения волны c . При равенстве всех остальных параметров она будет зависеть от силы F , как показано на Рис. 5 для волн в веревке.

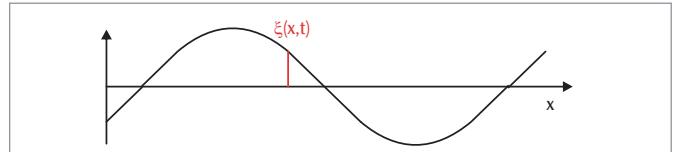


Рис. 1: Иллюстрация определения отклонения $\xi(x,t)$ в заданной точке

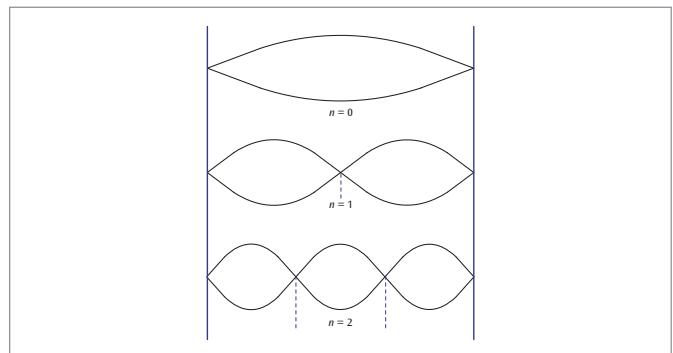


Рис. 2: Стоящие волны

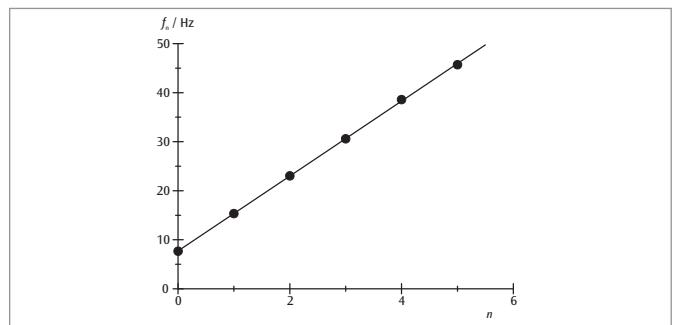


Рис. 3 Зависимость резонансной частоты от количества узлов волн в цилиндрической пружине

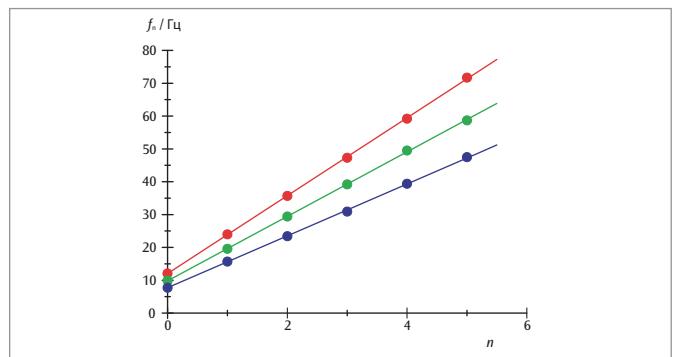


Рис. 4 Зависимость резонансной частоты от количества узлов волн в веревке

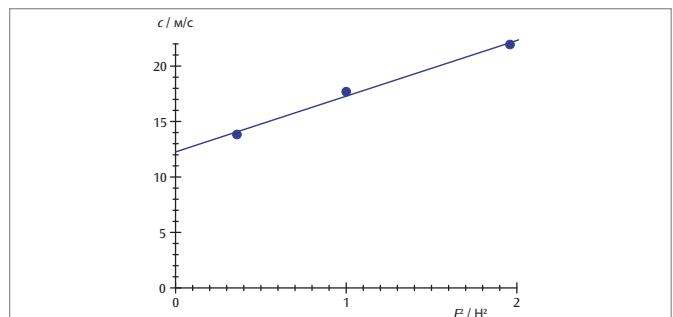


Рис. 5: Зависимость скорости распространения волны c от F^2 для случая волн в веревке

UE1080400 | ПОВЕРХНОСТНОЕ НАТЯЖЕНИЕ



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение поверхностного натяжения методом «разрыва»

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Чтобы определить поверхностное натяжение жидкости, кольцо с острой кромкой погружается в жидкость горизонтально и медленно вытягивается вверх, при этом измеряется тяущая сила. Тонкий слой жидкости, который образуется на кольце, «разрывается», когда сила становится больше определенного значения. По этой силе и по длине кромки можно рассчитать поверхностное натяжение.

› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Образование тонкого слоя жидкости между кольцом с острой кромкой и поверхностью жидкости при медленном подъеме кольца над жидкостью.
- Измерение тяущей силы незадолго до момента разрыва тонкого слоя жидкости.
- Определение поверхностного натяжения по измеренной тяущей силе.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Кольцо для изучения поверхностного натяжения	1000797
1	Прецизионный динамометр на 0,1 Н	1003102
1	Мерный стакан	1002872
1	Лабораторный подъемник II	1002941
1	Основание стойки, треножник, размер 150 мм	1002835
1	Стойка из нержавеющей стали длиной 750 мм	1002935
1	Зажим с крючком	1002828
1	Штангенциркуль, 150 мм	1002601

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Поверхностное натяжение жидкости – это свойство границы раздела между жидкостью и воздухом, находящимся в контакте с ней. Оно обусловлено тем, что молекула жидкости на поверхности испытывает действие сил только соседних с ней молекул с одной стороны, в то время как молекула внутри жидкости испытывает воздействие со всех сторон (см. Рис. 1). Следовательно, молекула на поверхности испытывает воздействие результирующей силы, направленной перпендикулярно к поверхности внутрь жидкости. Поэтому, для того чтобы увеличить площадь поверхности, перенеся больше молекул на поверхность, требуется затратить некоторую энергию.

Частное:

$$(1) \quad \sigma = \frac{\Delta E}{\Delta A}$$

от деления добавляемой при постоянной температуре энергии ΔE на увеличение площади поверхности ΔA , называется поверхностным натяжением или плотностью поверхностной энергии.

Чтобы проиллюстрировать значение данного определения, рассмотрим пример кольца с острой кромкой, которое изначально полностью погружено в жидкость. Если кольцо медленно вытягивать из жидкости, тонкий слой жидкости вытягивается вверх за его нижним краем (см. Рис. 2). Когда кольцо поднимается еще на Δx , общая площадь поверхности тонкого слоя снаружи и внутри кольца увеличивается на:

$$(2) \quad \Delta A = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot \Delta x$$

где R : радиус кольца.

Для этого необходимо приложить силу:

$$(3) \quad F_0 = \frac{\Delta E}{\Delta x}$$

Если сила, прилагаемая при подъеме кольца, превышает F_0 , тонкий слой жидкости рвется.

В этом опыте металлическое кольцо с острой нижней кромкой подвешивается в горизонтальном положении на прецизионном динамометре. Сначала кольцо полностью погружено в испытательную жидкость (например, в воду), затем оно медленно вытягивается из жидкости вверх. Тонкий слой жидкости рвется, когда вытягивающая сила F становится больше предельного значения F_0 .

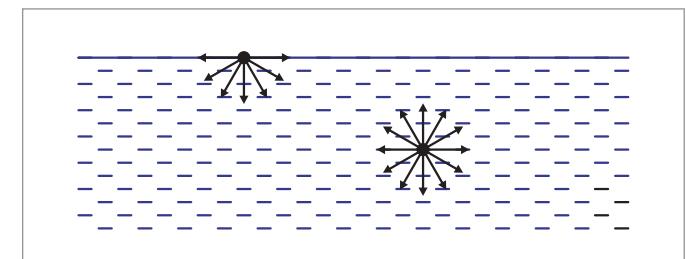


Рис. 1: Силы взаимодействия, действующие со стороны соседних молекул на молекулу на поверхности жидкости или на молекулу в толще жидкости

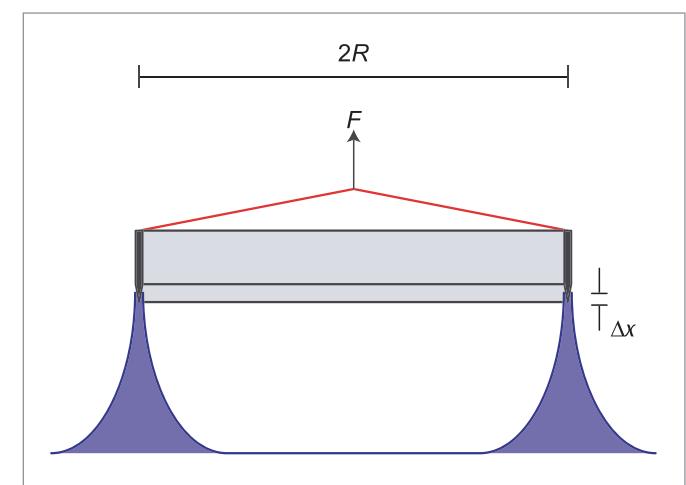


Рис. 2: Схема опыта

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Из уравнений (1), (2) и (3) имеем:

$$F_0 = \frac{\Delta E}{\Delta x} = 4 \cdot \pi \cdot R \cdot \sigma$$

Таким образом, уравнение для определения поверхностного натяжения имеет вид:

$$\sigma = \frac{F_0}{4 \cdot \pi \cdot R}$$

UE1090200 | ИЗГИБ ПЛОСКОГО БРУСА



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение деформации плоского бруса с опорами на обоих концах и определение модуля упругости

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Сопротивление плоского горизонтального бруса деформации в форме изгиба под действием внешней силы можно рассчитать математически, если степень деформации значительно меньше, чем длина бруса. Деформация пропорциональна модулю упругости E материала, из которого изготовлен брус. В этом опыте деформацию под воздействием известной силы можно измерить, а результаты измерения использовать для определения модуля упругости стали и алюминия.

› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерить профиль деформации при центральной и смещенной от центра нагрузке.
- Измерить деформацию как функцию силы.
- Измерить деформацию как функцию длины, ширины и высоты, а также зависимость деформации от материала; определить модуль упругости материала.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Аппарат для измерения модуля упругости	1018527
1	Дополнительный набор для определения модуля упругости	1018528
1	Карманный рулетка, 2 м	1002603
1	Внешний микрометр	1002600

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Сопротивление плоского горизонтального бруса деформации в форме изгиба под действием внешней силы можно рассчитать математически, если степень деформации значительно меньше, чем длина бруса. Деформация пропорциональна модулю упругости E материала, из которого изготовлен брус. Поэтому деформацию под воздействием известной силы можно измерить, а результаты измерения использовать для определения модуля упругости.

Для расчета бруса послойно разделяют на параллельные сегменты, которые сжимаются внутри и растягиваются снаружи. Нейтральные сегменты не подвергаются ни сжатию, ни растяжению. Относительное растяжение или сжатие ϵ других слоев и связанное с этим напряжение σ зависит от их расстояния z от нейтральных сегментов:

$$(1) \quad \epsilon(z) = \frac{s + \Delta s(z)}{s} = \frac{z}{\rho(x)} \quad \text{и} \quad \sigma(z) = E \cdot \epsilon(z)$$

$\rho(x)$: местный радиус кривизны, вызванной изгибом

Таким образом, кривизна определяется местным изгибающим моментом:

$$(2) \quad M(x) = \int_{A} \sigma(z) \cdot z \cdot dA = \frac{1}{\rho(x)} \cdot E \cdot I$$

где $I = \int_{A} z^2 \cdot dA$: момент инерции площади

В этом опыте вместо радиуса кривизны $\rho(x)$ можно измерять профиль деформации $w(x)$, по которому смещаются нейтральные сегменты от их положения покоя. Его можно рассчитать следующим образом, в случае если изменения $dw(x)/dx$ из-за деформации достаточно малы, профиль деформации получается двойным интегрированием:

$$(3) \quad \frac{d^2w}{dx^2}(x) = \frac{1}{\rho(x)} = \frac{M(x)}{E \cdot I}$$

Типовым примером является наблюдение бруса длиной L , который опирается на оба конца и к которому в точке a приложена направленная вниз сила F . В состоянии равновесия сумма всех действующих сил равна нулю:

$$(4) \quad F_1 + F_2 - F = 0$$

Точно также сумма всех моментов, действующих на брус в произвольно выбранной точке x , также равна нулю:

$$(5) \quad M(x) - F_1 \cdot x - F_2 \cdot (L-x) + F \cdot (a-x) = 0$$

Кривизна или деформация на концах бруса не возникает, т.е. $M(0) = M(L) = 0$ и $w(0) = w(L) = 0$. Это значит что $M(x)$ полностью поддается определению:

$$(6) \quad M(\zeta) = \begin{cases} F \cdot L \cdot (1-\alpha) \cdot \zeta; & 0 \leq \zeta \leq \alpha \\ F \cdot L \cdot \alpha \cdot (1-\zeta); & \alpha < \zeta \leq 1 \end{cases}$$

$$\text{где } \zeta = \frac{x}{L} \quad \text{и} \quad \alpha = \frac{a}{L}$$

Профиль деформации получается двойным интегрированием:

$$(7) \quad w(\zeta) = \begin{aligned} & \frac{F \cdot L^3}{E \cdot I} \left[(1-\alpha) \cdot \frac{\zeta^3}{6} - \left(\frac{\alpha^3}{6} - \frac{\alpha^2}{2} - \frac{\alpha}{3} \right) \cdot \zeta \right] \\ & \frac{F \cdot L^3}{E \cdot I} \left[\frac{\alpha^3}{6} - \left(\frac{\alpha^3}{6} + \frac{\alpha}{3} \right) \zeta + \frac{\alpha}{2} \cdot \zeta^2 - \frac{\alpha}{6} \cdot \zeta^3 \right] \end{aligned}$$

В этом опыте форма профиля проверяется при нагрузке в центре бруса ($\alpha = 0,5$) и при смещенной от центра нагрузке ($\alpha < 0,5$).

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Когда нагрузка приложена в центре, справедливо

$$\text{следующее: } w(x = \frac{L}{2}, a = \frac{L}{2}) = -\frac{F \cdot L^3}{48 \cdot E \cdot I}$$

Для прямоугольника шириной b и высотой d выполняется следующий расчет:

$$I = \int_A z^2 \cdot dA = \int_{-\frac{d}{2}}^{\frac{d}{2}} z^2 \cdot b \cdot dz = \frac{d^3}{12} \cdot b$$

$$\text{В этом случае: } w(x = \frac{L}{2}, a = \frac{L}{2}) = -\frac{1}{4} \cdot \frac{F}{E} \cdot \frac{L^2}{d^3} \cdot \frac{1}{b}$$

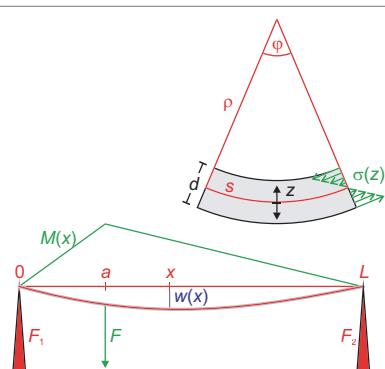


Рис. 1: Схема профиля деформации

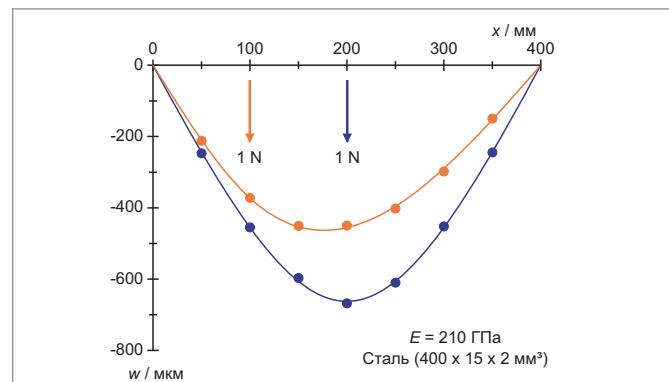


Рис. 2: Измеренный и расчетный профиль деформации для нагрузки, действующей в центре, и смещенной от центра нагрузки

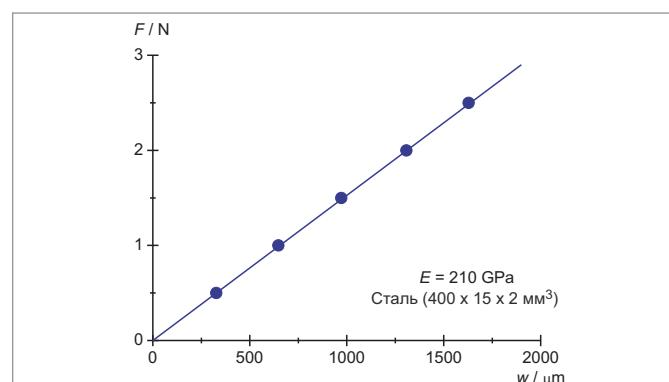


Рис. 3: Подтверждение закона Гука

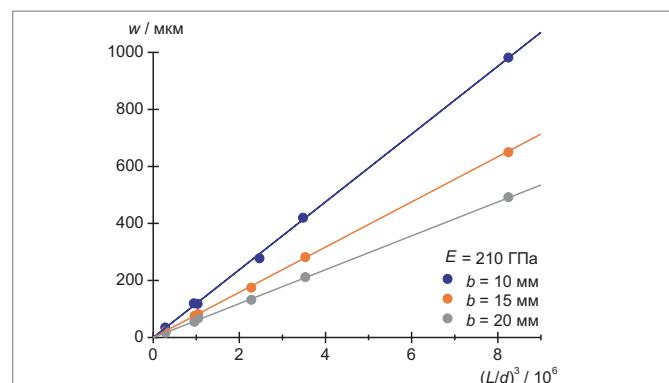


Рис. 4: Зависимость деформации от соотношения $(L/d)^3$.

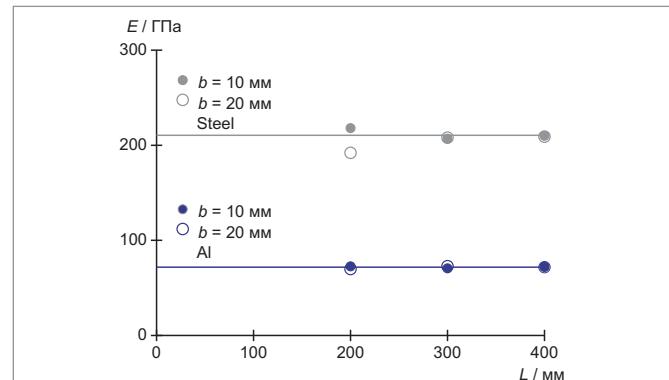


Рис. 5: Модуль упругости стали и алюминия

UE2040100 | ЗАКОН БОЙЛЯ-МАРИОТТА



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение давления p воздуха в сосуде при комнатной температуре для различных положений поршня s .
- Представление измеренных значений для трех различных количеств воздуха в виде p - V -диаграммы.
- Проверка закона Бойля-Мариотта.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение параметров воздуха как идеального газа при комнатной температуре

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В этом опыте проверяется закон Бойля-Мариотта для идеальных газов при комнатной температуре, при этом в качестве идеального газа берется воздух. Объем цилиндрического сосуда изменяется за счет движения поршня, одновременно осуществляется измерение давления находящегося в нем воздуха.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Устройство для демонстрации закона Бойля-Мариотта	1017366

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Объем фиксированного количества газа зависит от давления, воздействующего на газ, и от температуры газа. Если температура остается неизменной, произведение объема на температуру во многих случаях остается постоянным. Этот закон, открытый Робертом Бойлем и Эдмом Мариоттом, справедлив для всех газов в идеальном состоянии, которое имеет место, когда температура газа намного выше точки, называемой его критической температурой.

Закон, открытый Бойлем и Мариоттом, гласит, что:

$$(1) \quad p \cdot V = \text{const.}$$

и является частным случаем более общего закона, который справедлив для всех идеальных газов. Этот общий закон описывает взаимосвязь между давлением p , объемом V , температурой T по отношению к абсолютному нулю и количеством n газа:

$$(2) \quad p \cdot V = n \cdot R \cdot T$$

$$R = 8.314 \frac{\text{J}}{\text{mol} \cdot \text{K}} \quad (\text{универсальная газовая постоянная}).$$

Из общего уравнения (2) частный случай (1) получается при условии, что температура T и количество газа n не изменяются. В этом опыте демонстрируется справедливость закона Бойля-Мариотта при комнатной температуре, при этом в качестве идеального газа берется воздух. Объем воздуха V в цилиндрическом сосуде изменяется за счет движения поршня, одновременно осуществляется измерение давления p находящегося в нем воздуха.

Количество газа n зависит от начального объема V_0 , в который воздух попадает через открытый клапан перед началом опыта.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Поскольку площадь поперечного сечения A поршня постоянна, объем V воздуха, заключенного в сосуде, можно легко рассчитать по расстоянию s , которое проходит поршень относительно положения нулевого объема. Для точного анализа следует также учесть «мертвый» объем V_1 воздуха в манометре, наличия которого невозможно избежать.

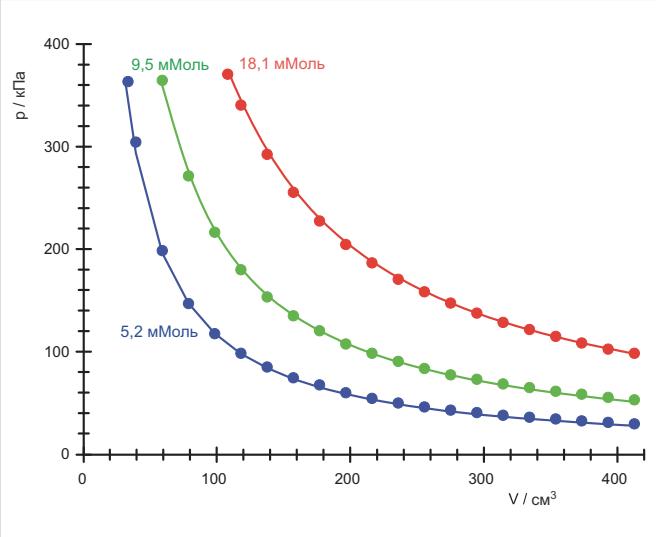


Рис. 1: Диаграммы «давление/объем» для трех различных количеств воздуха при комнатной температуре

UE2060100 |

КАЛОРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ (ДВИГАТЕЛЬ СТИРЛИНГА)



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Приведение в действие калорического двигателя в качестве тепловой машины.
- Демонстрация превращения тепловой энергии в механическую энергию.
- Измерение зависимости скорости холостого хода от тепловой мощности.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Приведение в действие функциональной модели двигателя Стирлинга в качестве тепловой машины

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Калорический двигатель является классическим примером тепловой машины. В ходе термодинамического цикла тепловая энергия поступает из резервуара высокой температуры, а затем частично превращается в используемую механическую энергию. Оставшаяся тепловая энергия после этого передается в резервуар при меньшей температуре.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Бездотходный двигатель типа Вилке	1000817
1	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (230 В, 50/60 Гц)	1003312 или
	Источник питания постоянного тока с напряжением 0–20 В, 0–5 А (115 В, 50/60 Гц)	1003311
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см, красный/синий	1017718
1	Механический секундомер на 30 мин	1003369

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Термодинамический цикл калорического двигателя (изобретенного Р. Стирлингом в 1816 г.) можно упростить, разбив цикл на отдельные процессы нагревания, расширения, охлаждения и сжатия. Эти процессы для случая функциональной модели, которая исследуется в данном опыте, схематически изображены на Рис. 1-4.

Если калорический двигатель приводится в действие без какой-либо механической нагрузки, он вращается со скоростью холостого хода, которая ограничена внутренним трением и зависит от подводимого количества тепловой энергии. Скорость падает, как только к двигателю подключается механическая нагрузка. Это может быть продемонстрировано наиболее наглядно путем приложения силы трения к кривошипу.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Нагревание:

Тепло поступает, когда поршень вытеснения выдвигается, вследствие чего воздух выталкивается в нагретую область большого цилиндра. Во время этого рабочий поршень находится в своей нижней мертвоточке, поскольку поршень вытеснения опережает рабочий поршень на 90° .

Расширение:

Нагретый воздух расширяется и вызывает втягивание рабочего поршня. В то же время механическая работа передается на шатун маховика с помощью кривошипного привода.

Охлаждение:

Когда рабочий поршень находится в своей верхней мертвоточке: поршень вытеснения втягивается, и воздух вытесняется в сторону верхнего торца большого цилиндра, где он охлаждается.

Сжатие:

Охлажденный воздух сжимается при выдвижении рабочего поршня. Требующаяся для этого механическая работа совершается шатуном маховика.

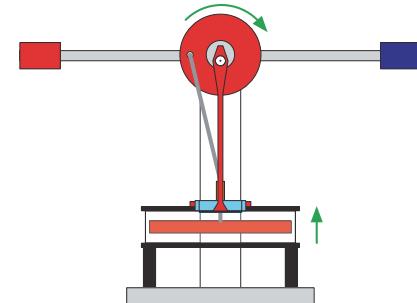


Рис. 1: Нагревание

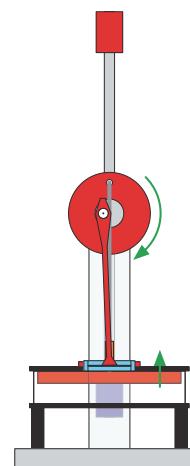


Рис. 2: Расширение

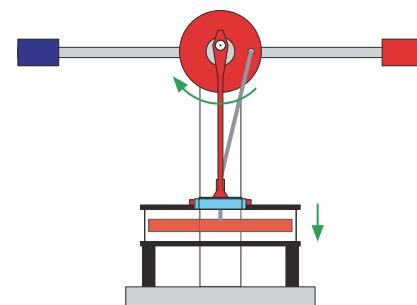


Рис. 3: Охлаждение

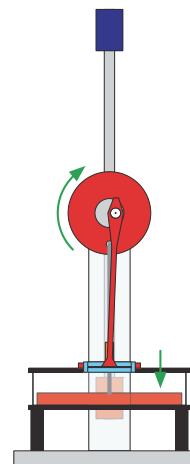
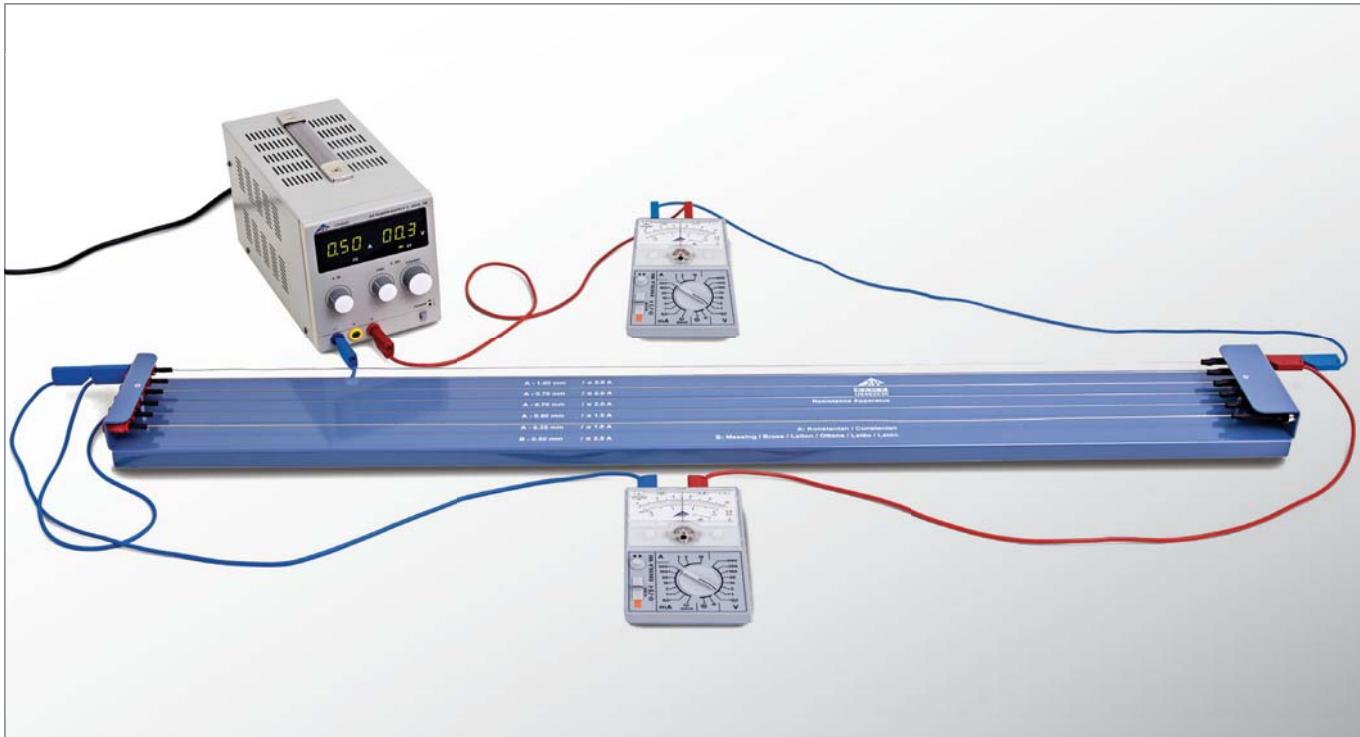


Рис. 4: Сжатие

UE3020320 | ЗАКОН ОМА



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Проверка закона Ома для проволоки из константана и проволоки из латуни.
- Проверка закона Ома для проволок из константана различной длины.
- Проверка закона Ома для проволок из константана различной толщины.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Проверка закона Ома

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В простых электрических проводниках сила тока I , протекающего в проводнике, пропорциональна приложенному напряжению U . Коэффициент этой пропорциональности, омическое сопротивление R , зависит от длины проводника x , площади его поперечного сечения A и природы материала проводника. Эта взаимосвязь исследуется на примере проволок из константана и латуни.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Измеритель сопротивления	1009949
1	Источник питания постоянного тока, 0–20 В, 0–5 А (230 В, 50/60 Гц)	1003312 или
	Источник питания постоянного тока, 0–20 В, 0–5 А (115 В, 50/60 Гц)	1003311
2	Универсальный аналоговый измерительный прибор ESCOLA 30	1013526
1	Набор из 15 безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см	1002843

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Георг Симон Ом был первым, кто в 1825 г. продемонстрировал, что сила тока, протекающего в простом проводнике, пропорциональна приложенному напряжению.

Это означает, что действует закон Ома:

$$(1) \quad U = R \cdot I$$

Коэффициент пропорциональности R – это сопротивление проводника. В случае металлической проволоки длиной x и поперечным сечением A , сопротивление R определяется следующей формулой:

$$(2) \quad R = \rho \cdot \frac{x}{A}$$

Удельное сопротивление ρ зависит от материала, из которого изготовлена проволока.

Для проверки этой фундаментальной взаимосвязи проведем опыт по исследованию пропорциональности между силой тока и напряжением в металлических проволоках разной толщины, длины и изготовленных из разных материалов. Мы также определим удельное сопротивление и сравним результаты с данными, указанными в литературе.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Площадь поперечного сечения A рассчитывается исходя из толщины проволок d :

$$A = \frac{\pi}{4} \cdot d^2$$

По результатам измерений строятся три графика зависимости U от I . Для каждого из них меняется один из параметров: ρ , x или d .

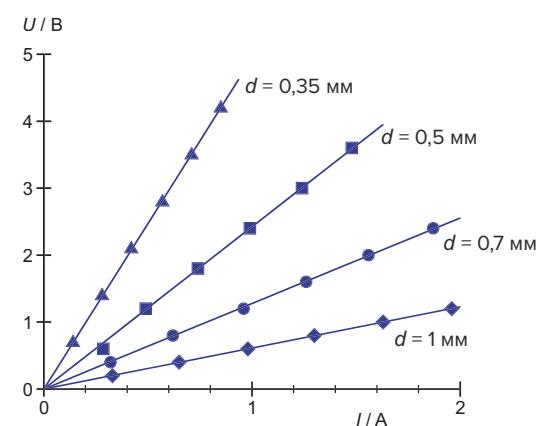


Рис. 3. Графики зависимости U от I для проволок из константана различной толщины

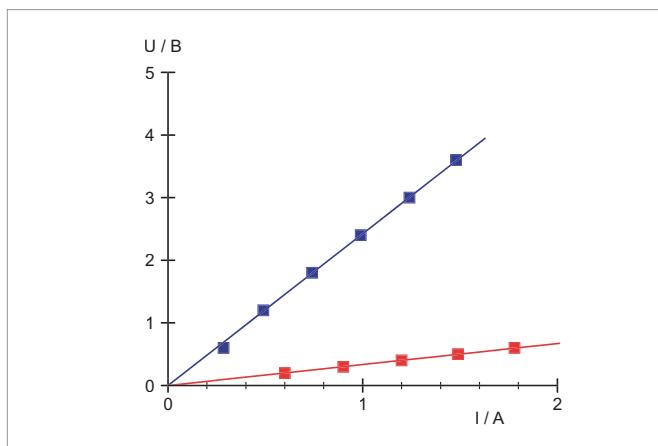


Рис. 1: Графики зависимости U от I для константановой проволоки (синий) и латунной проволоки (красный)

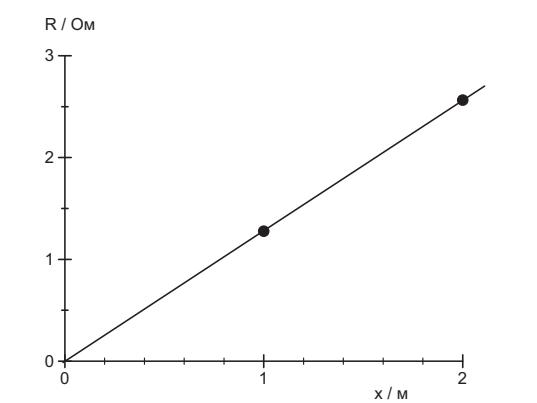


Рис. 4. Зависимость сопротивления R от длины

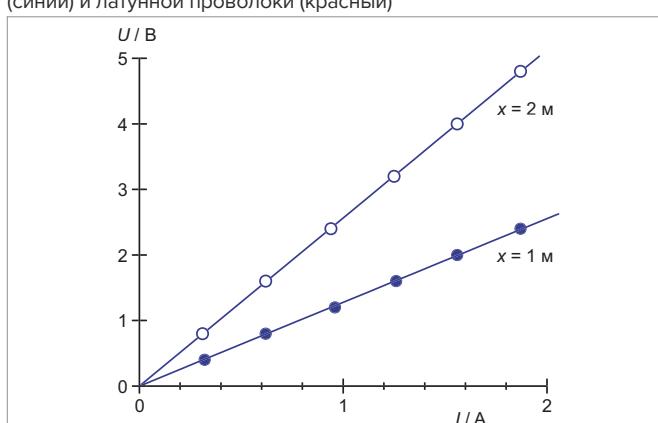


Рис. 2: Графики зависимости U от I для проволок из константана различной длины

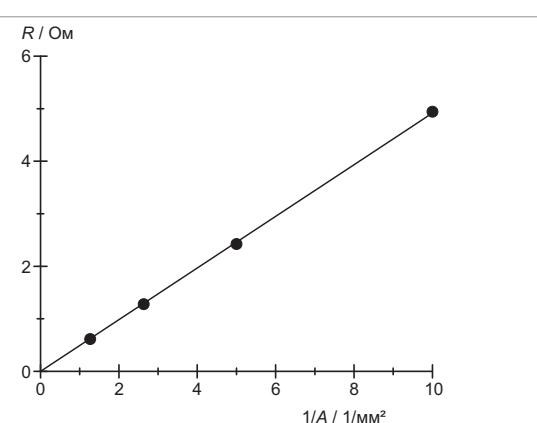


Рис. 5: Зависимость сопротивления R от величины, обратной площади поперечного сечения A

UE3030350 | ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ВЕСЫ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение силы, действующей на проводник с током, как функции величины тока.
- Измерение силы, действующей на проводник с током, как функции его длины.
- Калибровка магнитного поля.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Измерение силы, действующей на проводник с током, расположенный в магнитном поле

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Токовые весы основаны на опытах Андре Мари Ампера с электрическим током. При этом с помощью весов измеряется электродинамическая сила, иногда называемая силой Лоренца, действующая на проводник с током, расположенный в магнитном поле. В этом опыте проводник с током подвешен на жесткой системе подвеса и прикладывает равное и противоположно направленное усилие к постоянным магнитам, когда магнитным полем создается электродинамическая сила. В результате возникает очевидное изменение веса постоянного магнита.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Набор оборудования для токовых весов	1021822
1	Электронные весы Scout SKX на 420 г	1020859
1	Источник питания постоянного тока, 0–20 В, 0–5 А (230 В, 50/60 Гц)	1003312 или
	Источник питания постоянного тока, 0–20 В, 0–5 А (115 В, 50/60 Гц)	1003311
1	Стержень из нержавеющей стали, длина 250 мм	1002933
1	Основание стойки, треножник, размер 150 мм	1002835
1	Двухполюсный переключатель	1018439
3	Пара соединительных проводов для опытов, 75 см	1002850

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Электрические весы основаны на экспериментах **Андре Мари Ампера** с электрическим током. При этом с помощью весов измеряется сила, действующая на проводник с током в магнитном поле. В опыте современными электронными точными весами взвешивается постоянный магнит.

Измеренный вес меняется в соответствии с третьим законом Ньютона, когда электродинамическая сила действует на проводник с током при его введении в магнитное поле. На весах находится постоянный магнит, создающий горизонтальное магнитное поле B . В этом устройстве горизонтальный проводник длиной L с током, подвешенный на жесткой перекладине, погружается вертикально в магнитное поле.

Электродинамическая сила магнита действует на проводник:

$$(1) \quad F_L = N \cdot e \cdot v \times B$$

e : элементарный заряд

N : общее количество электронов, участвующих в электропроводимости

Средняя дрейфовая скорость v тем больше, чем больше ток I , протекающий через проводник:

$$(2) \quad I = n \cdot e \cdot A \cdot v$$

n : количество электронов, участвующих в электропроводимости,
 A : поперечное сечение проводника

Из

$$(3) \quad N = n \cdot A \cdot L$$

L : длина проводника

получаем:

$$(4) \quad F_L = I \cdot L \cdot e \times B$$

или

$$(5) \quad F_L = I \cdot L \cdot B$$

поскольку единичный вектор e , направленный к проводнику, расположен перпендикулярно магнитному полю. В соответствии с третьим законом Ньютона, равная и противоположно направленная сила F действует на постоянный магнит. В зависимости от знака веса G постоянного магнита, измеренный весами, увеличивается или уменьшается. Благодаря функции тарировки весов вес G можно электронно сместить так, что весы немедленно покажут противоположно направленную силу F .

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Было показано, что зависимость электродинамической силы, или силы Лоренца, оттока точно описывается прямой линией, проходящей через начало координат (Рис. 2). Это не так для зависимости от длины проводника (Рис. 3), в связи проявлением краевых эффектов на концах проводника. Магнитное поле полностью собранного постоянного магнита рассчитывается по линейным градиентам $a_2 = B/L$ на Рис. 2 и $a_3 = B/I$ на Рис. 3.

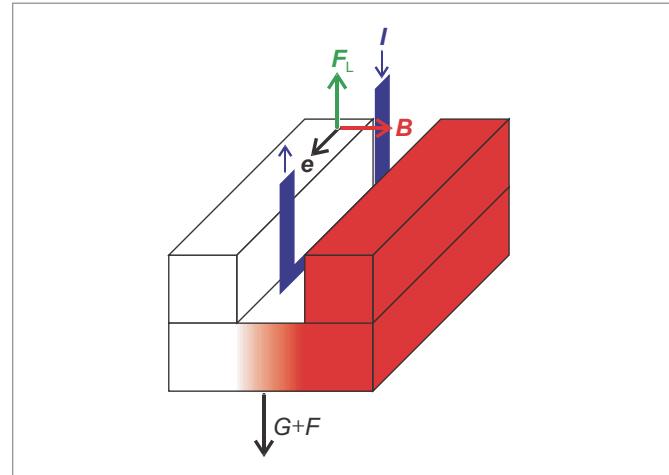


Рис. 1: Схематическое изображение электродинамической силы F_L , действующей на проводник с током, и общей силы $G + F$, действующей на весы

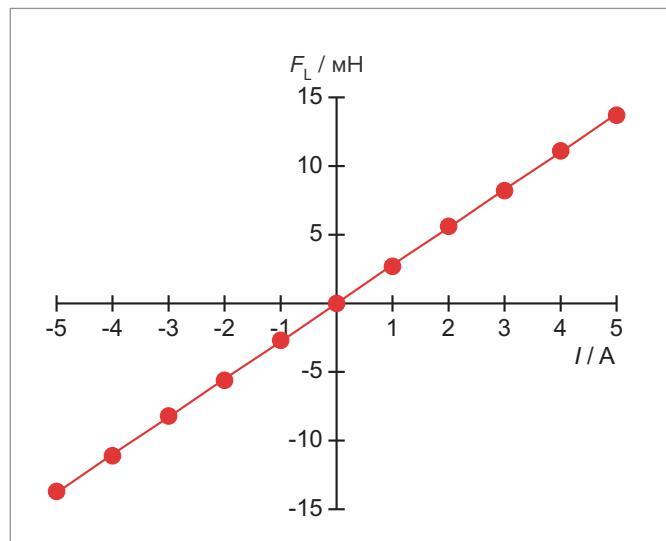


Рис. 2: Сила F_L как функция силы тока I

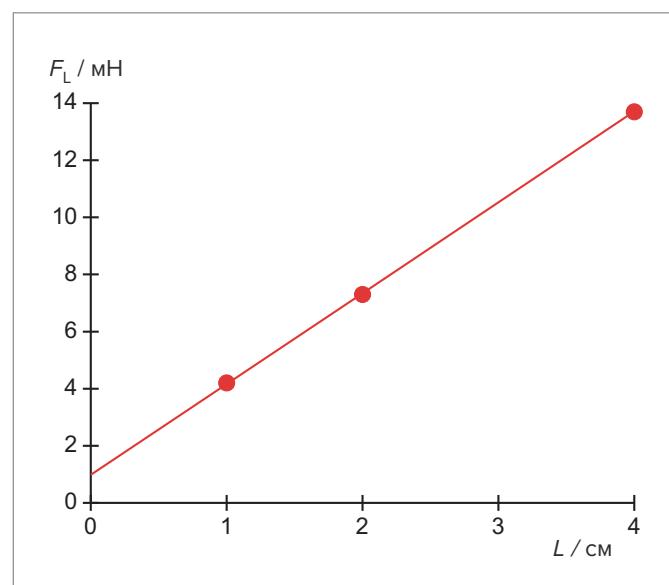


Рис. 3: Сила F_L как функция длины проводника L

UE3040500 | ТРАНСФОРМАТОРЫ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение зависимости напряжения на вторичной обмотке от напряжения на первичной обмотке при отсутствии нагрузки и при фиксированном числе витков.
- Измерение зависимости силы тока в первичной обмотке от силы тока во вторичной обмотке при фиксированном числе витков и коротком замыкании на выходе.
- Измерение напряжения первичной обмотки, тока первичной обмотки, напряжения вторичной обмотки и тока вторичной обмотки при определенном сопротивлении нагрузки.
- Определение потерь энергии и КПД.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Проведение измерений параметров трансформатора с нагрузкой и без

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Трансформаторы – это устройства, работа которых основана на законе электромагнитной индукции Фарадея и которые используются для преобразования напряжений. Одной из основных областей применения трансформаторов является передача электрической энергии на большие расстояния, где потери энергии можно свести к минимуму, преобразовав напряжение до максимально возможных значений и уменьшая тем самым силу тока до минимума. В этом опыте исследуется характер зависимости напряжения и тока от числа витков при наличии и отсутствии нагрузки, а также при коротком замыкании на выходе. Вы также рассчитаете потери энергии и КПД.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	Nº по каталогу
1	Катушка D – 600 витков	1000988
1	Катушка D – 1200 витков	1000989
1	Сердечник D трансформатора	1000976
1	Трансформатор с выпрямителем 2/ 4/ 6/ 8/ 10/ 12/ 14 В, 5 А (230 В, 50/60 Гц)	1003558 или
	Трансформатор с выпрямителем 2/ 4/ 6/ 8/ 10/ 12/ 14 В, 5 А (115 В, 50/60 Гц)	1003557
2	Цифровой мультиметр Р3340	1002785
1	Набор безопасных проводов для опытов, 75 см	1002843

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Трансформаторы – это устройства, работа которых основана на законе электромагнитной индукции Фарадея и которые используются для преобразования напряжений. Одной из основных областей применения трансформаторов является передача электрической энергии на большие расстояния, где потери энергии можно свести к минимуму, преобразовав напряжение до максимально возможных значений и уменьшая тем самым силу тока до минимума.

Простейший трансформатор состоит из двух связанных обмоток – первичной обмотки с числом витков N_1 и вторичной обмотки с числом витков N_2 , которые намотаны на общем металлическом сердечнике. Это означает, что магнитный поток Φ_1 генерируемый током I_1 , протекающим в первичной обмотке, полностью охватывает вторичную обмотку.

Далее рассматривается идеальный случай, т.е. трансформатор без потерь. Если нагрузка трансформатора отсутствует, во вторичной обмотке не протекает никакого тока, т.е. $I_2 = 0$. Если переменное напряжение U_1 подается на первичную обмотку, в ней протекает ток холостого хода или ток короткого замыкания I_1 , создающий магнитный поток Φ_1 и наводящий напряжение U_{ind} . Согласно 2-му закону Кирхгофа это наведенное напряжение противоположно по знаку и равно по величине напряжению U_1 , так как ($U_1 + U_{\text{ind}} = 0$):

$$(1) \quad U_{\text{ind}} = -L_1 \cdot \frac{dI_1}{dt} = -N_1 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt} = -U_1$$

L_1 : индуктивность первичной обмотки,

Φ_1 : магнитный поток, создаваемый током I_1

Поскольку магнитный поток Φ_1 полностью охватывает вторичную обмотку, на ней наводится напряжение:

$$(2) \quad U_2 = -N_2 \cdot \frac{d\Phi_1}{dt}$$

Тогда из выражений (1) и (2) получаем следующее:

$$(3) \quad \frac{U_2}{U_1} = -\frac{N_2}{N_1}$$

Знак «минус» указывает на то, что U_1 и U_2 сдвинуты друг относительно друга по фазе на 180° , если витки намотаны в одном направлении. Если обмотки намотаны в противоположных направлениях, напряжения будут в фазе.

Если имеется нагрузка трансформатора, во вторичной обмотке не протекает ток $I_2 = U_2 / R$ – сопротивление нагрузки. Этот ток создает магнитный поток Φ_2 который согласно закону Ленца направлен противоположно магнитному потоку Φ_1 , создаваемому током первичной обмотки I_1 . Поскольку напряжение первичной обмотки U_1 остается постоянным, ток первичной обмотки I_1 возрастает. В идеальном случае мощность на выходе вторичной обмотки P_2 равна мощности на входе первичной обмотки P_1 :

$$(4) \quad P_1 = U_1 \cdot I_1 = U_2 \cdot I_2 = P_2$$

В сочетании с выражением (3) это дает следующий результат:

$$(5) \quad \frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1}$$

В первой части опыта вольтметр подключается ко вторичной обмотке трансформатора и измеряется зависимость напряжения вторичной обмотки U_{20} от напряжения первичной обмотки U_{10} при отсутствии какой-либо нагрузки (то есть при $I_{20} = 0$). Отношение числа витков обмоток остается постоянным $N_1/N_2 = 1/2$. Затем вторичная обмотка замыкается накоротко через амперметр (так что $U_{2c} = 0$) и измеряется зависимость тока в первичной обмотке I_{1c} от тока во вторичной обмотке I_{2c} , опять же при постоянном отношении числа витков в обмотках $N_1/N_2 = 1/2$.

Наконец, нагрузочный резистор $R = 2 \Omega$ подключается ко вторичной обмотке и измеряются напряжение первичной обмотки U_1 , ток в первичной обмотке I_1 напряжение вторичной обмотки U_2 и ток во вторичной обмотке I_2 при фиксированном отношении числа витков обмоток $N_1/N_2 = 1/2$.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Из выражения (3) получаем для напряжений:

$$U_2 = \frac{N_2}{N_1} \cdot U_1$$

а из выражения (5), соответственно, для токов:

$$I_1 = \frac{N_2}{N_1} \cdot I_2$$

Следовательно, наклоны линейных зависимостей, изображенных на Рис. 2 и 3, определяются отношением числа витков обмоток.

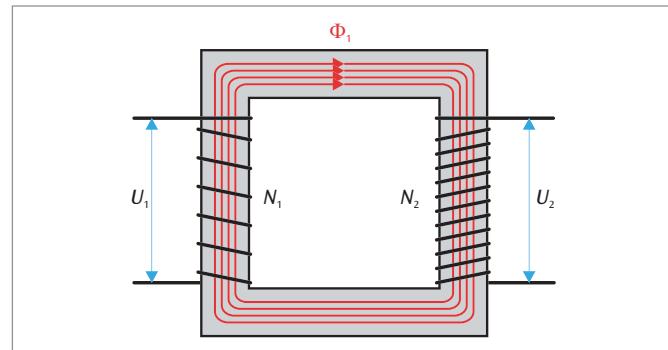


Рис. 1: Схема трансформатора

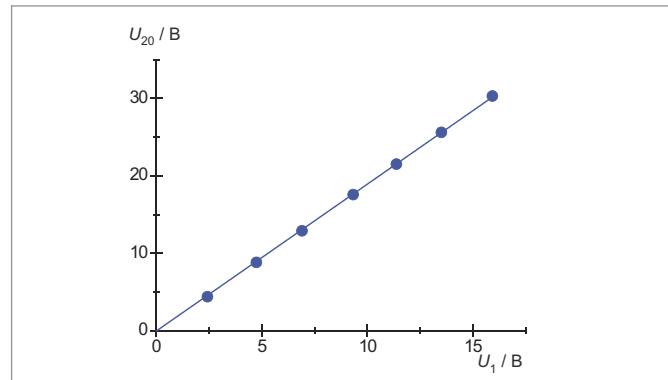


Рис. 2: Зависимость напряжения вторичной обмотки U_{20} от напряжения первичной обмотки U_{10} при отсутствии нагрузки ($I_{20} = 0$), $N_1 = 600$, $N_2 = 1200$.

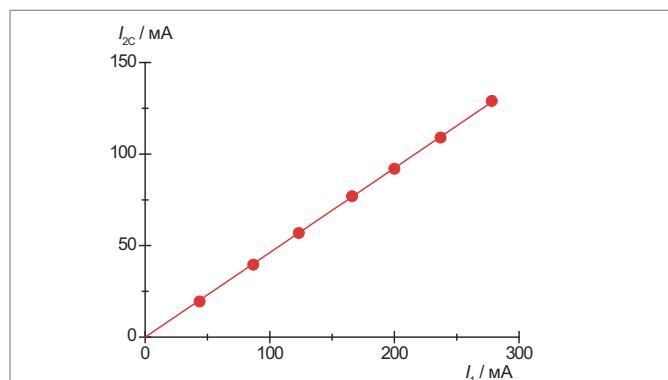
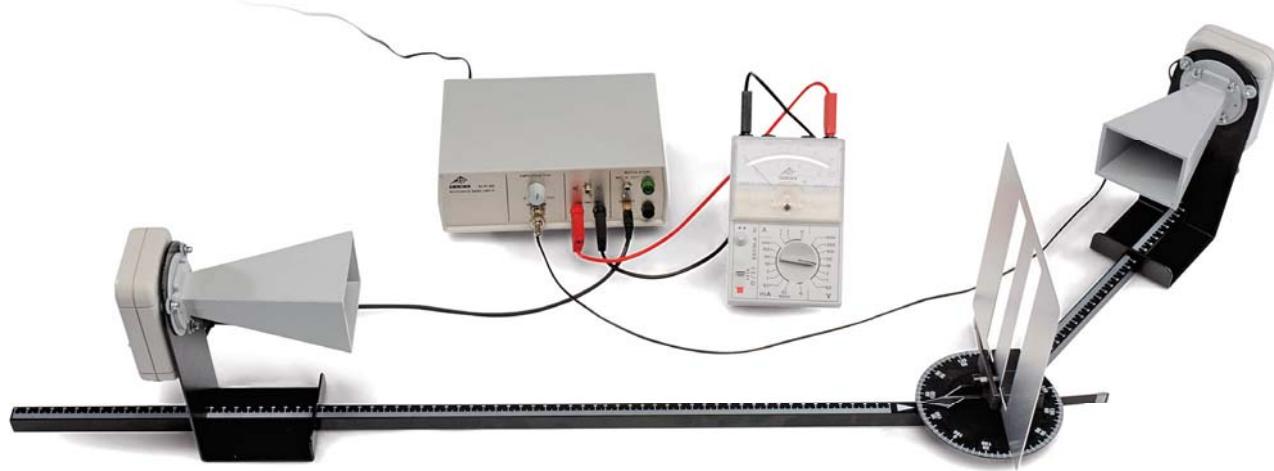


Рис. 3: Зависимость тока в первичной обмотке I_{1c} от тока во вторичной обмотке I_{2c} при коротком замыкании вторичной обмотки ($U_{2c} = 0$), $N_1 = 600$, $N_2 = 1200$.

UE3060300 | ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЛНОВОЙ ОПТИКИ С ПОМОЩЬЮ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Выполните поточечное измерение интенсивности волн СВЧ-диапазона при их дифракции на паре щелей.
- Определите положения максимумов различных порядков дифракции.
- Определите длину волны при известном расстоянии между щелями.
- Исследуйте поляризацию излучаемых СВЧ-волн и измените ее.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Демонстрация и исследование явлений интерференции, дифракции и поляризации с помощью волн СВЧ

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

С помощью волн СВЧ-диапазона можно провести ряд опытов по интерференции, дифракции и поляризации, которые помогают понять эти явления для видимого света. Можно использовать дифрагирующие объекты и поляризационные решетки, обладающие структурой, которую можно рассмотреть невооруженным глазом и легко понять. В случае дифракции на паре щелей максимальную интенсивность можно наблюдать в том месте, куда не могло бы попасть излучение, распространяющееся от источника волн по прямой.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Набор оборудования СВЧ-диапазона 9,4 ГГц (230 В, 50/60 Гц)	1009951 или
	Набор оборудования СВЧ-диапазона 10,5 ГГц (115 В, 50/60 Гц)	1009950
1	Универсальный аналоговый измерительный прибор ESCOLA 30	1013526
1	Пара безопасных соединительных проводов для опытов, 75 см, красный/голубой	1017718

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

В волновой оптике свет рассматривается как излучение, состоящее из поперечных электромагнитных волн. Этим объясняются явления интерференции, дифракции и поляризации. СВЧ-волны тоже являются электромагнитными волнами и им присущи те же явления, однако длины волн в этом случае намного больше, чем у видимого света. Следовательно, опыты по волновой оптике можно также поставить, используя волны СВЧ-диапазона и дифрагирующие объекты и поляризационные решетки, внутреннее строение которых можно легко рассмотреть невооруженным глазом.

В этом опыте исследуется дифракция СВЧ-волн с длиной волны λ на паре щелей, расстояние d между которыми составляет несколько сантиметров. Измерьте характерное распределение интенсивности излучения при дифракции на паре щелей (см. Рис. 1) с максимумами на углах α_m , удовлетворяющих условию:

$$(1) \quad \sin\alpha_m = m \cdot \frac{\lambda}{d}, \quad m = 0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

Очевидно, максимальная интенсивность наблюдается тогда, когда чувствительный элемент располагается строго позади полосы между щелями ($\alpha = 0, m = 0$), где он не мог бы зафиксировать излучение, распространяющееся по прямой линии от источника. Это явление можно объяснить результатом интерференции парциальных лучей от этих двух щелей, и оно ясно указывает на волновую природу СВЧ-излучения.

Поворачивая чувствительный элемент вокруг оси, совпадающей с направлением на источник, можно убедиться в линейной поляризации излучаемых волн СВЧ. Когда плоскости источника излучения и чувствительного элемента повернуты друг относительно друга на угол 90° , наблюдаемая интенсивность излучения падет до нуля. Если затем одну из поляризационных решеток поместить на пути луча под углом 45° к другой решетке, чувствительный элемент вновь обнаруживает излучение, хотя и с меньшей, чем до этого, амплитудой. Решетка пропускает ту составляющую вектора электрического поля падающих волн СВЧ, которая колеблется параллельно направлению поляризационной. Таким образом можно измерить составляющую, колеблющуюся в направлении, параллельном плоскости чувствительного элемента.

ПРИМЕЧАНИЕ

Опыты по поглощению, отражению, преломлению и поляризации электромагнитных волн СВЧ-диапазона можно выполнить с помощью одного и того же оборудования.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Измерьте углы дифракции α_m различных максимумов интенсивности и постройте график зависимости $\sin\alpha_m$ от порядка дифракции m . Результаты измерений в ходе опыта оказываются лежащими на прямой линии, проходящей через начало координат, наклон которой соответствует отношению λ/d .

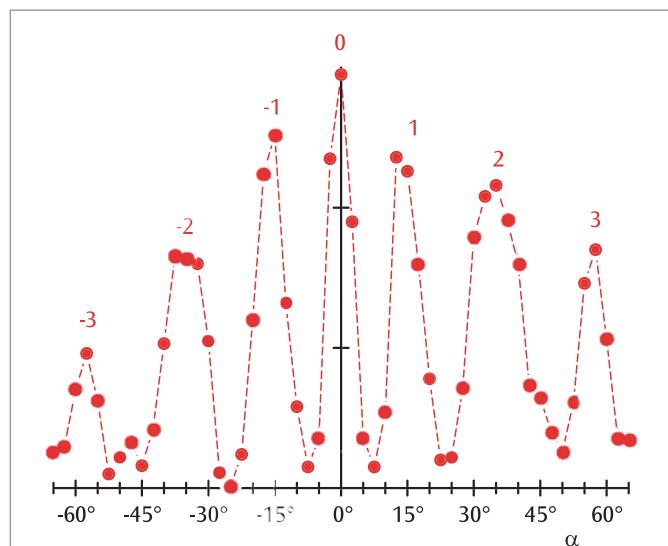


Рис. 1: Распределение интенсивности излучения в результате дифракции СВЧ-волн на паре щелей

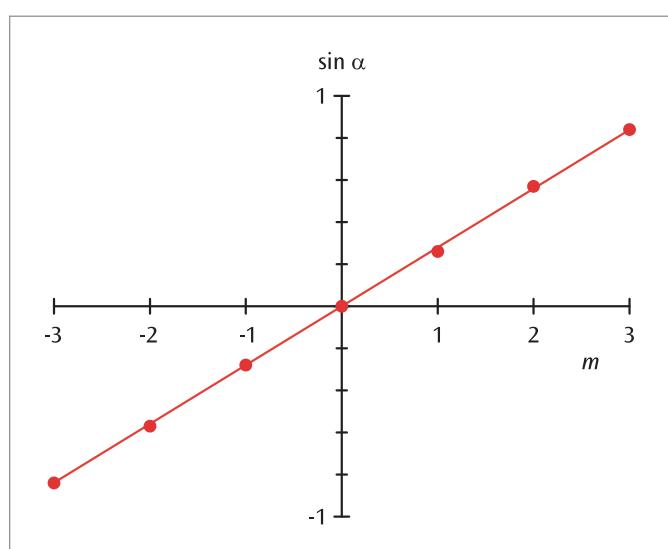


Рис. 2: Зависимость положений максимумов интенсивности от порядка дифракции m

UE4010020 | ПРЕЛОМЛЕНИЕ СВЕТА



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Проверить закон преломления Снеллиуса.
- Определить показатель преломления и критический угол общего внутреннего отражения прозрачной акриловой пластмассы.
- Наблюдать и измерить отклонение пучка света по разным параллельным путям после преломления прямоугольным блоком.
- Наблюдать путь света внутри призмы, которая просто отклоняет пучок, и в призме, которая обращает пучок.
- Наблюдать путь света внутри выпуклой линзы и внутри вогнутой линзы и определить их фокусные расстояния.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Исследование преломления света разными оптическими компонентами

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Свет распространяется в разных средах с разной скоростью. Если среда имеет низкую оптическую толщину, скорость распространения света в ней выше, чем в среде с большей оптической толщиной. Таким образом имеет место изменение направления пучка света при прохождении через границу двух сред при неравном нулю угле падения. Степень отклонения зависит от соотношения показателей преломления этих двух сред, как это описывает закон преломления Снеллиуса. Такое рефракционное поведение теперь будет исследоваться с помощью оптических компонентов из прозрачного акрила (плексигласа).

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Оптическая скамья модели U, 1200 мм	1003039
3	Рейтер модели U, 75 мм	1003041
1	Рейтер модели U, 35 мм	1003042
1	Светодиодная лампа для опытов по оптике	1020630
1	Ирисовая диафрагма на ножке	1003017
1	Держатель объективов на ножке	1000855
1	Оптический диск с принадлежностями	1003036
1	Набор из 5 диафрагм со щелями и отверстиями	1000607

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Свет распространяется в разных средах с разной скоростью c . Если среда имеет низкую оптическую толщину, скорость распространения света в ней выше, чем в среде с большей оптической толщиной.

Отношение скорости света в вакууме c_0 к скорости света в среде называется абсолютным показателем преломления n . Если скорость света в среде равна c , тогда справедливо следующее:

$$(1) \quad c = \frac{c_0}{n}.$$

Когда пучок света переходит из одной среды с показателем преломления n_1 в другую с показателем преломления n_2 , пучок света меняет направление на границе. Это описывается законом преломления Снеллиуса:

$$(2) \quad \frac{\sin \alpha}{\sin \beta} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{c_2}{c_1}$$

α, n_1, c_1 : угол преломления, показатель преломления и скорость распространения в среде 1

β, n_2, c_2 : угол преломления, показатель преломления и скорость распространения в среде 2

Пучок света, переходя из среды с относительно низкой оптической толщиной в среду с более высокой оптической толщиной, преломляется в направлении нормали к границной поверхности, а пучок света, переходя из среды с более высокой оптической толщиной в среду с более низкой оптической толщиной, преломляется от нормали. В последнем случае существует критический угол α_T , при котором пучок света действительно преломляется вдоль границы раздела сред. При углах падения больше чем этот, преломление не происходит вообще, и пучок света полностью отражается.

В этом опыте исследуется такое рефракционное поведение с использованием полукруглого тела, прямоугольного блока с параллельными сторонами, призмы, собирающей линзы и рассеивающей линзы, все изготовлены из прозрачного акрила. Полукруглое тело особенно хорошо подходит для демонстрации закона преломления, т. к. На полуциркульном периметре преломление не происходит, если пучок света падает на плоскую поверхность точно в центре окружности. Плоская сторона образует границу между средами и при разных углах будет совпадать с оптической осью (см. Рис. 1). Поскольку пучок света преломляется при входе и при выходе из прямоугольного блока, он отклоняется вдоль линии, параллельной первоначальному направлению, но проходит на расстоянии d от этой линии. Расстояние отклонения зависит от угла падения α . Применим читателю следующее выражение (см. Рис. 1):

$$(3) \quad d = h \cdot \frac{\sin(\alpha - \beta)}{\cos \beta}, \quad h: \text{толщина блока}$$

Призма 90° действует так, что отклоняет пучок света, если он направлен перпендикулярно одной из коротких сторон. Затем пучок света отражается от гипотенузы и выходит из призмы с отклонением на 90° . Если, однако, пучок света направлен перпендикулярно гипотенузе, он отражается обеими другими сторонами и выходит из призмы, параллельно своему первоначальному пути, но в обратном направлении (см. Рис. 1).

Выпуклая линза собирает параллельные лучи света вместе, то есть собирает их преломлением, тогда как вогнутая линза вызывает расходжение лучей (см. Рис. 1). Затем лучи встречаются с другой стороны линзы в фокусной точке F или могут быть отслежены обратно до той точки, которая представляется мнимой фокусной точкой F' перед линзой.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Если исходной средой является воздух, в целях этого опыта будет достаточно точным оценить его о показатель преломления $n_1 = 1$. Если угол падения равен критическому углу полного внутреннего отражения α_T , угол преломления $\beta = 90^\circ$. Из уравнения (2) следует, что если n является показателем преломления прозрачного акрила, тогда:

$$\sin \alpha_T = \frac{1}{n}$$

Для преломления прямоугольным блоком уравнения (2) и (3) дают следующее:

$$d = h \cdot (\sin \alpha - \cos \alpha \cdot \tan \beta) = h \cdot \sin \alpha \left(1 - \frac{\cos \alpha}{\sqrt{n^2 - \sin^2 \alpha}} \right)$$

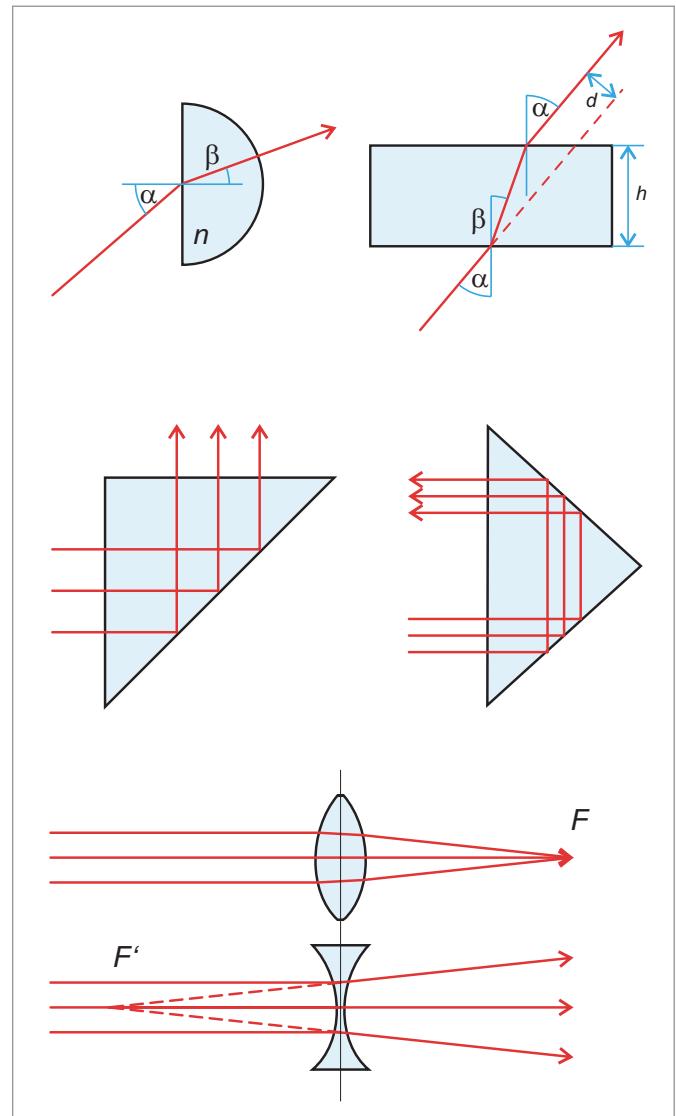


Рис. 1: Преломление полукруглым телом, путь света через прямоугольный блок, отклоняющие и обращающие призмы, путь света через прямоугольную выпуклую линзу и через вогнутую линзу

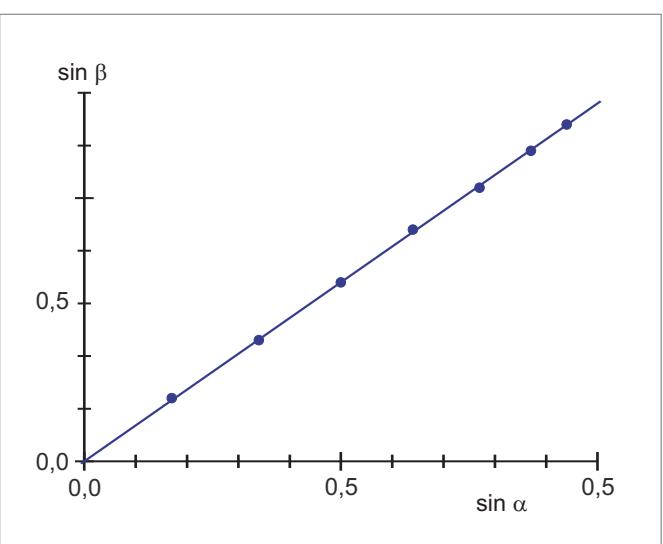
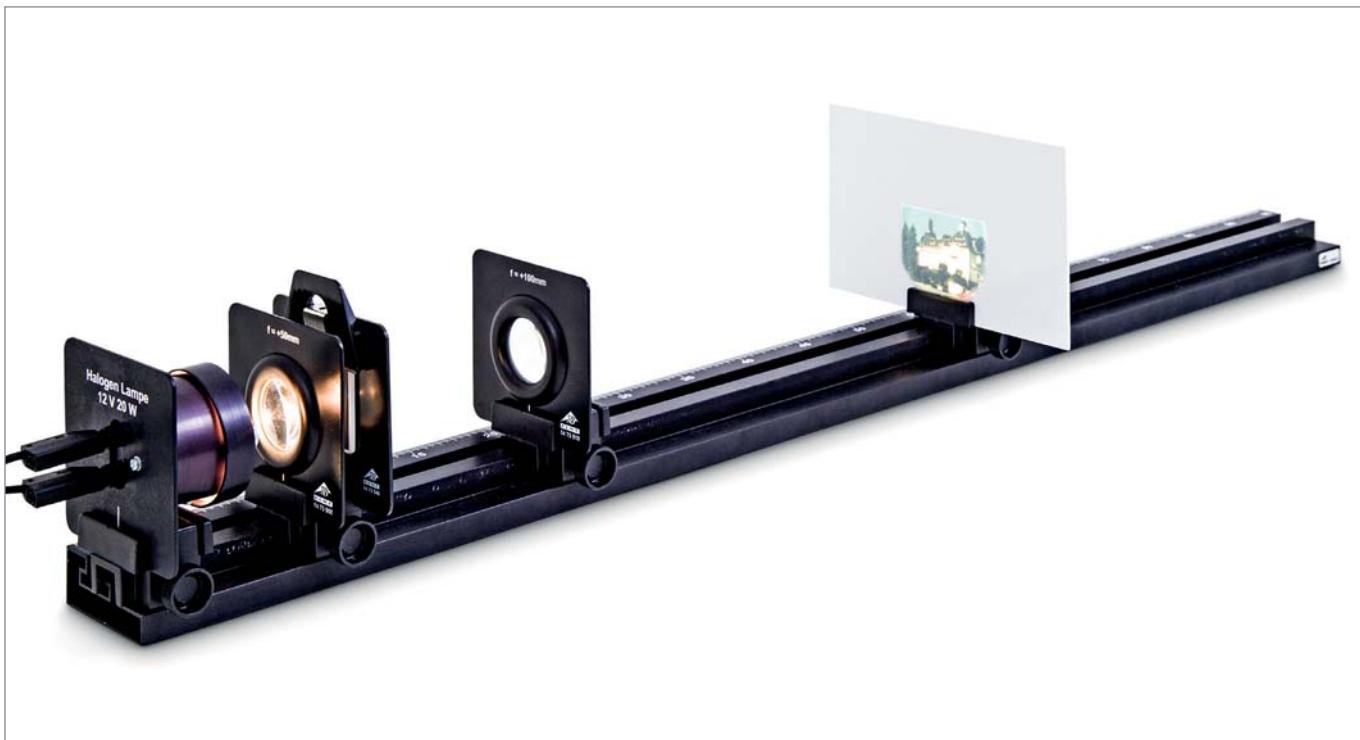


Рис. 2: Диаграмма для определения показателя преломления n

UE4010100 | УРАВНЕНИЕ ЛИНЗЫ



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Определение двух положений тонкой линзы, при которых получается резкое изображение.
- Определение фокусного расстояния тонкой линзы.

ЦЕЛЬ ОПЫТ

Определение фокусного расстояния линзы методом Бесселя

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

На оптической скамье можно установить источник света, линзу, экран и предмет так, чтобы хорошо сфокусированное изображение этого предмета появилось на экране. С помощью геометрических соотношений между лучами в тонкой линзе можно определить ее фокусное расстояние.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Оптическая скамья модели К, 1000 мм	1009696
4	Рейтер модели К	1000862
1	Лампа для оптических опытов модели К	1000863
1	Трансформатор, 12 В, 25 ВА (230 В, 50/60 Гц)	1000866 или
	Трансформатор, 12 В, 25 ВА (115 В, 50/60 Гц)	1000865
1	Выпуклая линза модели К, $f = 50$ мм	1000869
1	Выпуклая линза модели К, $f = 100$ мм	1010300
1	Зажим модели К	1008518
1	Набор из 4 слайдов с изображениями	1000886
1	Проекционный экран модели К, белый	1000879

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Фокусным расстоянием f линзы называется расстояние между основной плоскостью линзы и точкой ее фокуса, см. Рис. 1. Его можно определить методом Бесселя (предложенным Фридрихом Вильгельмом Бесселем). Для этого измеряются различные расстояния между элементами оптической системы на оптической скамье.

Из Рис. 1 и Рис. 2 видно, что для тонкой линзы должно выполняться следующее соотношение:

$$(1) \quad a = b + g$$

a : расстояние между предметом G и изображением B
 b : расстояние между линзой и изображением B
 g : расстояние между предметом G и линзой

Подставляя эти значения в уравнение линзы:

$$(2) \quad \frac{1}{f} = \frac{1}{b} + \frac{1}{g}$$

f : фокусное расстояние линзы

получаем:

$$(3) \quad \frac{1}{f} = \frac{a}{a \cdot g - g^2}$$

Это соответствует квадратному уравнению, имеющему следующую пару решений:

$$(4) \quad g_{1,2} = \frac{a}{2} \pm \sqrt{\frac{a^2}{4} - a \cdot f}$$

Резкое изображение получается при расстояниях до предмета g_1 и g_2 . Разность e между ними позволяет определить фокусное расстояние:

$$e = g_1 - g_2 = \sqrt{a^2 - 4af}$$

(5)

Разность e – это разность между двумя положениями линзы, P_1 и P_2 , при которых получается сфокусированное изображение.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Формулу для фокусного расстояния тонкой линзы можно получить методом Бесселя из уравнения (4):

$$f = \frac{a^2 - e^2}{4a}$$

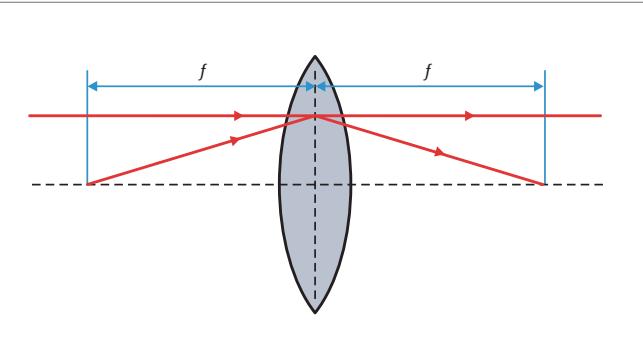


Рис. 1: Схема определения фокусного расстояния тонкой линзы

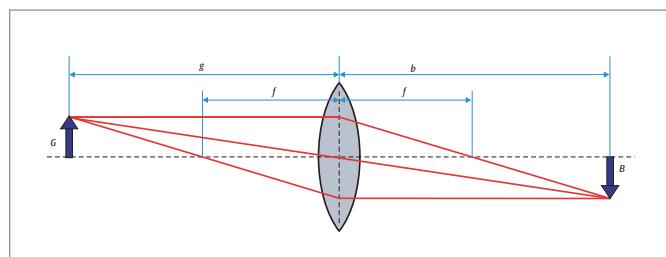


Рис. 2: Схема прохождения лучей через линзу

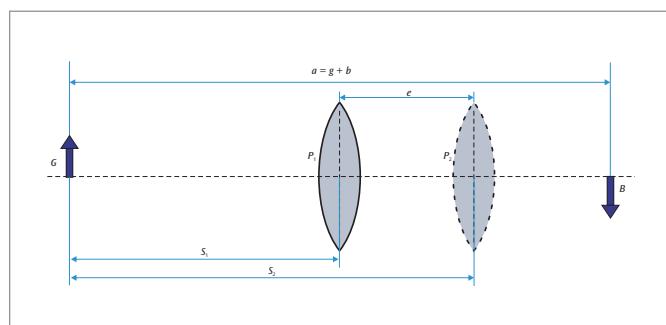


Рис. 3: Схема, показывающая два положения линзы, при которых на экране получается хорошо сфокусированное изображение

UE4080100 | ПРИЗМАТИЧЕСКИЙ СПЕКТРОМЕТР



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Настройка и калибровка
призматического спектрометра

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Призматические спектрометры используются для измерения оптических спектров разложение света на спектральные компоненты призмой. Для измерения длины волн систему следует откалибровать, так как угловая дисперсия носит нелинейный характер. В этом опыте для калибровки используется известный спектр ртутной (Hg) лампы, далее выполняются измерения с кадмиевой (Cd) лампой.

› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Отрегулировать призматический спектрометр и откалибровать его, используя спектральные линии ртутной лампы.
- Измерить минимальный угол отклонения при $\lambda = 546,07$ нм.
- Определить показатель преломления оптического стекла при $\lambda = 546,07$ нм, параметры Коши b и c для зависимого от длины волны показателя преломления.
- Рассчитать калибровочную кривую в соответствии с формулой дисперсии Хартманна.
- Выполнить измерения на линиях неизвестного спектра.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Гonioметр-спектрометр	1008673
1	Блок управления для спектральных ламп (230 В, 50/60 Гц)	1021409 или
	Блок управления для спектральных ламп (115 В, 50/60 Гц)	1003195
1	Ртутьно-кадмиевая спектральная лампа	1003546
1	Ртутная спектральная лампа 100	1003545

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

Призматические спектрометры используются для измерения оптических спектров на основании разложения света на спектральные компоненты при прохождении через призму. Разложение света происходит благодаря тому, что показатель преломления зависит от длины волны. В силу нелинейности призматический спектрометр для измерение длин волн следует откалибровать.

В спектрометре исследуемый свет проходит через щель S и попадает в объектив O_1 . Эти два компонента образуют коллиматор и дают широкий, параллельный пучок света (см. Рис. 1). После преломления на двух поверхностях призмы параллельный пучок выходит из призмы и фокусируется в изображение щели в фокусной плоскости объектива O_2 . Затем его можно рассматривать через линзу ОС окуляра. Телескоп, образуемый объективом O_2 и окуляром ОС, прикреплен к шарнирному рычагу, который жестко соединен со шкалой верньера N.

Двойное преломление света призмой описывается углами α_1 , α_2 , β_1 и β_2 (см. Рис. 2). Для равносторонней призмы справедливы следующие соотношения:

$$(1) \quad \sin\alpha_1 = n(\lambda) \cdot \sin\beta_1(\lambda) \quad n(\lambda) \cdot \sin\beta_2(\lambda) = \sin\alpha_2(\lambda) \cdot \beta_1(\lambda) + \beta_2(\lambda) = 60^\circ$$

Угол падения α_1 может быть изменен поворотом призмы относительно параллельного пучка, который входит в нее. Углы α_2 , β_1 и β_2 зависят от длины волны λ , поскольку показатель преломления n зависит от длины волны.

Угол отклонения между коллиматором и телескопом определяется на основании угла падения α_1 и угла выхода α_2 :

$$(2) \quad \delta(\lambda) = \alpha_1 + \alpha_2(\lambda) - 60^\circ$$

Угол имеет минимальное значение δ_{min} , когда путь пучка света симметричен относительно призмы. В то же время угловая дисперсия света $d\delta/d\lambda$ будет максимальной. Поэтому призматические спектрометры регулируются так, что для эталонной длины волны λ_0

обеспечивается симметричный путь пучка света. В этом опыте для этой цели выбрана зеленая спектральная линия ($\lambda_0 = 546,07 \text{ нм}$) ртутной лампы. Показатель преломления призмы для эталонной длины волны определяется по минимальному углу отклонения. Это вызвано тем, что симметрия подразумевает, что $\beta_1(\lambda_0) = \beta_2(\lambda_0) = 30^\circ$ и $\alpha_2(\lambda_0) = \alpha_1$, поэтому:

$$(3) \quad \sin \alpha_1 = n(\lambda_0) \cdot \frac{1}{2} \quad \text{где} \quad \alpha_1 = \frac{\delta_{\min}}{2} + 30^\circ$$

Дисперсия подразумевает смещение других спектральных линий от δ_{\min} на малые углы $\Delta\delta$. С помощью шкалы верньера можно считывать значения этих углов с точностью до нескольких минут. Поскольку изменения показателя преломления Δn остаются малыми по всей видимой части спектра, достаточно оценить только изменения линейных членов. Таким образом из уравнений 1–3 можно получить следующую зависимость между значениями длины волны и их отклонением:

$$(4) \quad \Delta\delta(\lambda) = \Delta\alpha_2(\lambda) = \frac{\Delta n(\lambda)}{\cos \alpha_1} = \frac{\Delta n(\lambda)}{\sqrt{1 - \frac{(n(\lambda_0))^2}{4}}}$$

В видимой части спектра показатель преломления n уменьшается по мере увеличения длины волны λ . Это описывается уравнением Коши в следующем виде:

$$(5) \quad n(\lambda) = a + \frac{b}{\lambda^2} + \frac{c}{\lambda^4}$$

В принципе, можно получить математическое описание калибровочной кривой из уравнений (4) и (5). Однако формула дисперсии Хартманна для этой цели подходит лучше:

$$(6) \quad \delta(\lambda) = \delta_H + \frac{K}{\lambda - \lambda_H}$$

Однако модифицирующие параметры δ_H , K и λ_H в приведенном выше не имеют специфического физического смысла. По этой причине в опыте спектральные линии ртутной лампы используются для калибровки с помощью уравнения (6), а затем можно измерять линии «неизвестного» спектра (см. Табл. 1).

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

Показатель преломления $n(\lambda_0)$ определяется с помощью уравнения (3). Параметры Коши для показателя преломления рассчитываются путем сопоставления параболической кривой с уравнением: $\Delta n = n(\lambda) - n(\lambda_0) = f(1/\lambda^2)$.

Таблица 1. Длины волн линий спектра кадмия

Цвет	Результат измерения $\lambda / \text{нм}$	Табличное значение $\lambda / \text{нм}$
Синий (среднее отклонение)	466	466
Синий (большое отклонение)	468	468
Голубой (среднее отклонение)	479	480
Темно-зеленый (большое отклонение)	509	509
Темно-зеленый (большое отклонение)	515	516
Красный (большое отклонение)	649	644

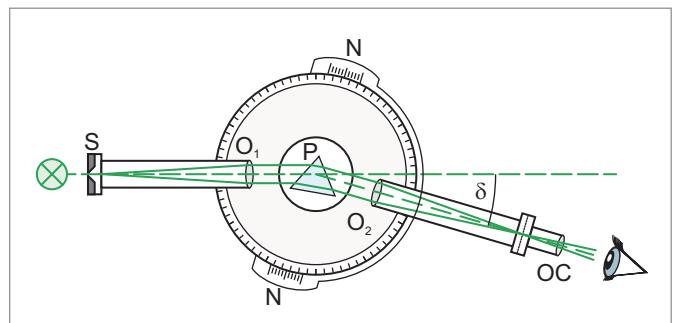


Рис. 1: Схема призматического спектрометра
S: входная щель, O1: объектив коллиматора, P: призма, O2: объектив телескопа, OC: окуляр телескопа, δ : угол отклонения

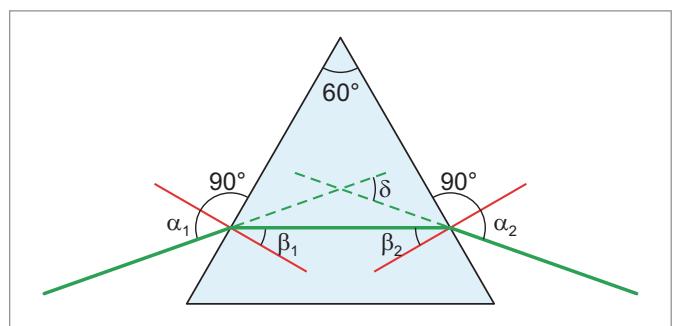


Рис. 2: Путь пучка света через призму

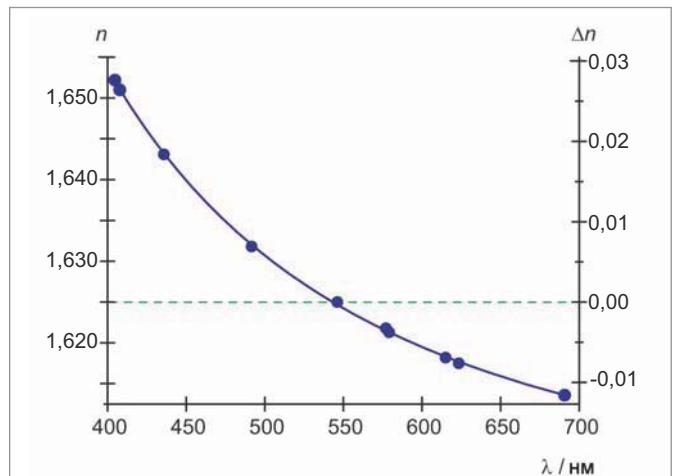


Рис. 3: Зависимый от длины волны показатель преломления призмы из оптического стекла

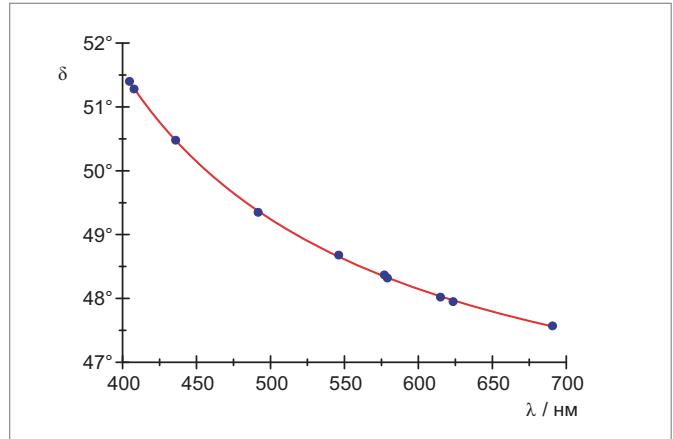


Рис. 4: Калибровочная кривая призматического спектрометра

UE5010200 | ПОСТОЯННАЯ ПЛАНКА



› ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение запирающего значения задерживающего напряжения при различных длинах волн света.
- Построение графика зависимости энергии от частоты по результатам измерений.
- Определение постоянной Планка и работы, которая требуется для испускания электрона.
- Демонстрация того, что энергия электронов не зависит от интенсивности света.

ЦЕЛЬ ОПЫТА

Определение постоянной Планка методом задерживающего потенциала

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

В модифицированном варианте классической установки свет известной частоты проходит через кольцевой анод и падает на катод, где вызывает испускание электронов благодаря фотоэлектрическому эффекту. Энергию этих электронов можно определить, подавая задерживающее напряжение, которое уменьшает поток электронов к аноду до тех пор, пока поток электронов не прекращается. Это показывает, что запирающее значение задерживающего напряжения, которое соответствует нулевому току, не зависит от интенсивности света. Поэтому энергия электронов также не зависит от интенсивности света. Получив запирающее напряжение для света различных частот, можно рассчитать постоянную Планка.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Прибор определения постоянной Планка (230 В, 50/60 Гц)	1000537 или
	Прибор определения постоянной Планка (115 В, 50/60 Гц)	1000536

ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ

Фотоэлектрический эффект иллюстрирует два важных свойства, открытых в 1902 году Ленардом. Количество электронов, испускаемых катодом в результате фотоэлектрического эффекта, пропорционально интенсивности падающего света. Однако энергия зависит от частоты света и не зависит от его интенсивности. В 1905 году Эйнштейн выдвинул гипотезу на основании описания излучения абсолютно черного тела, открытого Планком, объясняющую этот эффект, и тем самым заложил основы квантовой механики.

Эйнштейн предположил, что свет распространяется в виде фотонов, обладающих энергией, пропорциональной частоте света. Если фотон с энергией:

$$(1) \quad E = h \cdot f$$

$h = 6,626 \times 10^{-34}$ Js: постоянная Планка

сталкивается с электроном в катоде, его энергия может передаться электрону, который вылетает из катода с кинетической энергией

$$(2) \quad E_{\text{kin}} = h \cdot f - W$$

Работа W , которая требуется для испускания электрона, представляет собой величину, зависящую от свойств материала катода. Например, для цезия эта величина составляет приблизительно 2 эВ.

В этом опыте вышеупомянутое выражение используется для определения постоянной Планка h . Свет определенной частоты f проходит через кольцевой анод и попадает на катод, вызывая испускание электронов. Появляющийся в результате ток от катода к аноду измеряется с помощьюnanoамперметра, и подается задерживающее напряжение, U_0 , чтобы уменьшить этот ток до нуля. Используется свет различных светодиодов. Спектр соответствующих составляющих достаточно узок, так что для каждой из них можно указать вполне определенную длину волн λ , по которой частоту можно получить следующим образом:

$$(3) \quad f = \frac{c}{\lambda}$$

$$c = 2,998 \times 10^8 \text{ м/с}$$

Интенсивность света от диодов можно варьироваться в диапазоне от 0% до 100%, то есть можно исследовать, как энергия электронов зависит от интенсивности света.

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

В каждом случае ток уменьшается до нуля при запирающем значении задерживающего напряжения U_0 . Это определение можно подытожить с помощью выражений (2) и (3) следующим образом:

$$e \cdot U_0 = h \cdot f - W = h \cdot \frac{c}{\lambda} - W$$

где $e = 1,602 \times 10^{-19}$ As: заряд электрона

Тогда постоянную Планка можно определить по наклону графика, на котором по оси y отложены значения: $E = e \cdot U_0$ а по оси x — значения: $f = \frac{c}{\lambda}$

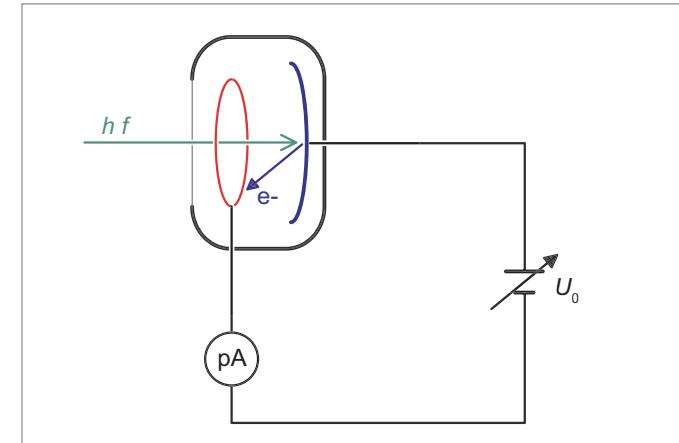


Рис. 1: Схема установки для проведения измерений

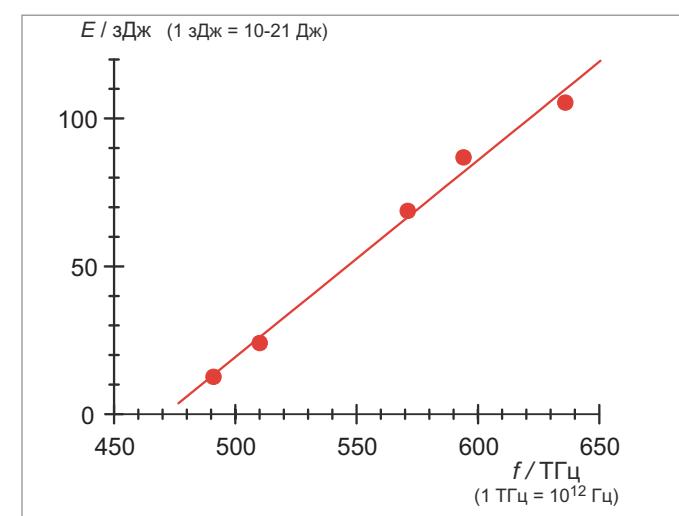


Рис. 2: График зависимости энергии от частоты

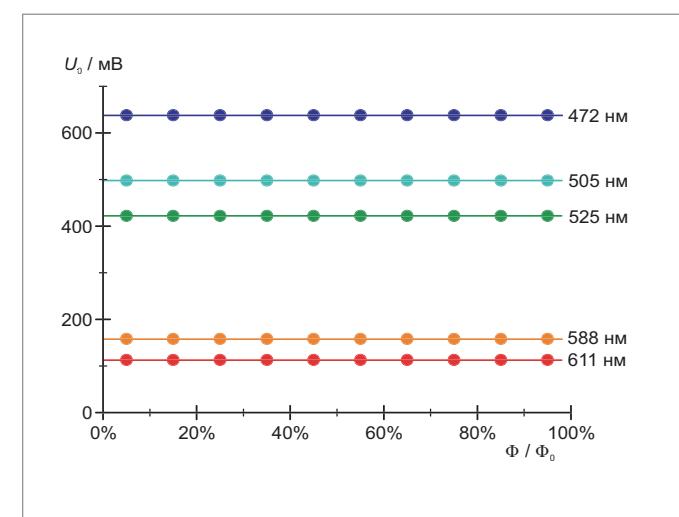
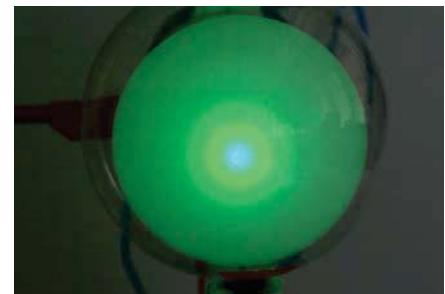


Рис. 3: Зависимость запирающего напряжения U_0 от частоты.

UE5010500 | ДИФРАКЦИЯ ЭЛЕКТРОНОВ



ЦЕЛЬ ОПЫТА

Наблюдение дифракции электронов на поликристаллическом графите и подтверждение волновой природы электронов

ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ОПЫТА

- Измерение диаметров двух дифракционных колец при различных напряжениях ускорителя.
- Определение длины волны электронов при различных напряжениях ускорителя путем применения условия Брэгга.
- Подтверждение уравнения де Броиля для длины волны.

КРАТКОЕ ОПИСАНИЕ

Дифракция электронов на пленке поликристаллического графита свидетельствует о волновой природе электронов. На люминесцентном экране дифракционной трубы можно наблюдать два дифракционных кольца вокруг центрального пятна на оси пучка. Причиной этих колец является дифракция электронов на тех плоскостях кристаллической решетки микрокристаллов графитовой пленки, которые удовлетворяют условию Брэгга. Это явление подобно результатам, полученным при дифракции рентгеновских лучей Дебая-Шеррера на кристаллическом порошке.

НЕОБХОДИМОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Кол-во	Наименование	№ по каталогу
1	Дифракционная электронная лампа модели S*	1013889
1	Держатель электровакуумных приборов модели S	1014525
1	Высоковольтный источник питания с напряжением 5 кВ (230 В, 50/60 Гц)	1003310 или
	Высоковольтный источник питания с напряжением 5 кВ (115 В, 50/60 Гц)	1003309
1	Набор из 15 безопасных соединительных проводов для опытов длиной 75 см	1002843

* Относительно версии с нашими электронными трубками D запрашивайте ценовое предложение.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ

В 1924 г. Лунде Бройль выдвинул гипотезу о том, что частицы могут, в принципе, тоже обладать волновыми свойствами, и что длина волны зависит от момента. Позже его теории были подтверждены К. Девиссоном и Л. Джермером путем наблюдения дифракции электронов на кристаллическом никеле.

Согласно де Бройлю, соотношение между длиной волны λ частицы и ее моментом p определяется выражением:

$$(1) \quad \lambda = \frac{h}{p}$$

h : постоянная Планка.

В случае электронов, которые получили ускорение напряжением U_A , это приводит к уравнению:

$$(2) \quad \lambda = \frac{h}{\sqrt{2 \cdot m \cdot e \cdot U_A}}$$

m: масса электрона, *e*: элементарный электрический заряд.
В этом опыте волновая природа электронов в стеклянной трубке, из которой откачен воздух, демонстрируется путем наблюдения их дифракции на поликристаллическом графите. На люминесцентном экране трубы можно наблюдать дифракционные кольца вокруг центрального пятна на оси пучка. Диаметр колец зависит от напряжения ускорителя. Их причиной является дифракция электронов на тех плоскостях кристаллической решетки микрокристаллов, которые удовлетворяют условию Брэгга (см. Рис. 2):

$$(3) \quad 2 \cdot d \cdot \sin \vartheta = n \cdot \lambda$$

ϑ : угол Брэгга, *n*: порядок дифракции,

d: расстояние между плоскостями кристаллической решетки (см. Рис. 2). Диаметр дифракционного кольца, соответствующего углу Брэгга ϑ , определяется выражением:

$$(4) \quad D = 2 \cdot L \cdot \tan 2\vartheta$$

L: расстояние между графитовой пленкой и люминесцентным.

Поскольку графит имеет кристаллическую структуру с двумя разными расстояниями между плоскостями кристаллической решетки, $d_1 = 123$ пм и $d_2 = 213$ пм (см. Рис. 3), дифракционная картина первого порядка (*n* = 1) состоит из двух дифракционных колец с диаметрами D_1 и D_2 .

ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ

По диаметрам двух дифракционных колец и расстояниям между плоскостями кристаллической решетки мы можем определить длину волны λ , применив условие Брэгга. При малых углах справедливо следующее равенство:

$$\lambda = 2 \cdot d_{1/2} \cdot \sin \left(\frac{1}{2} \cdot \arctan \left(\frac{D_{1/2}}{2 \cdot L} \right) \right)$$

Рассчитанные таким образом по результатам опыта длины волн можно сравнить со значениями, рассчитанными с помощью теоретического выражения (2).

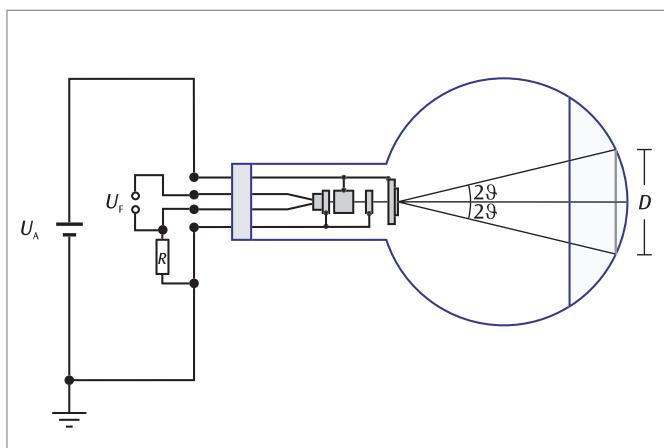


Рис. 1: Схема электронной дифракционной трубы

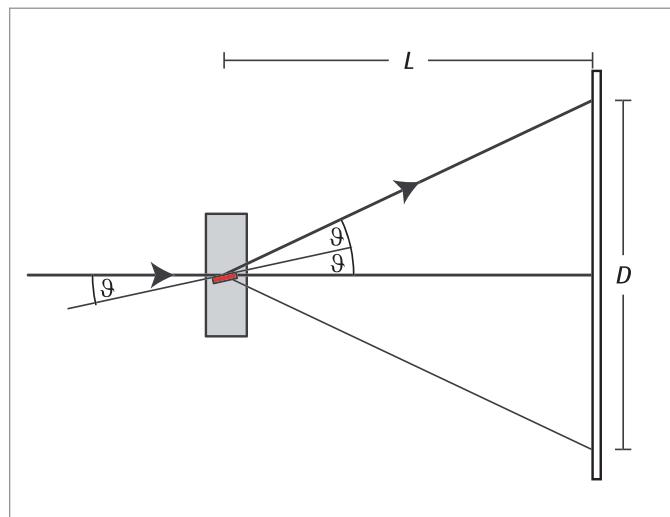


Рис. 2: Отражение Брэгга от «подходящей» группы плоскостей кристаллической решетки в типичной кристаллической решетке графитовой пленки

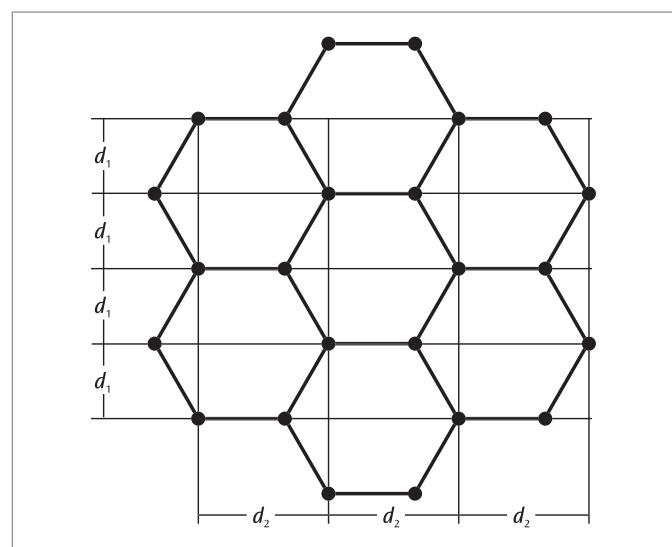


Рис. 3: Кристаллическая структура графита

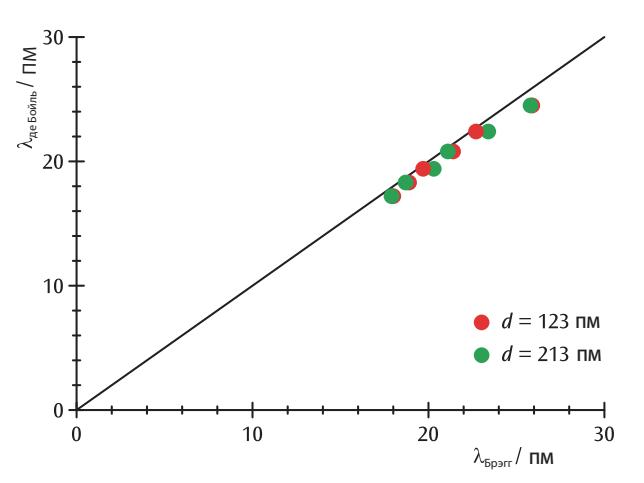


Рис. 4: Соотношение между длинами волн, определенными экспериментально с помощью условия Брэгга, и теоретическими длинами волн де Броиля

ООО «ЗБ Сайнтифик»
196084, Россия, Санкт-Петербург,
Московский пр., 79А, лит. А, офис 400
Тел.: +7 812 3342223 • Факс: +7 812 3347150
www.3bscientific.ru; e-mail: sales.spb@3bscientific.com

Лабораторная установка «Электроваумный прибор с мальтийским крестом»

Демонстрация прямолинейного распространения электронов при отсутствии поля

